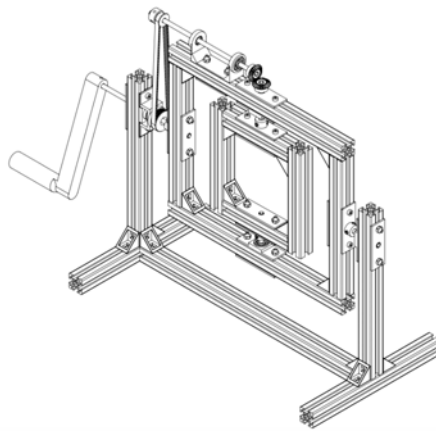




DESARROLLO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA DE ROTOMOLDEO



Departamento de medios continuos y teoría de estructuras

Grado en Ingeniería Mecánica

Autor: Rodrigo Lasso de la Vega Romero

Tutores:
Jesús Pernas Sánchez
José Alfonso Artero Guerrero

Índice

1. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO	1
2. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO	2
3. ESTADO DEL ARTE	3
3.1 <i>Introducción a las técnicas de producción de plástico</i>	3
3.2 <i>Tipos de rotomoldeo</i>	5
3.3 <i>Materiales</i>	7
4. ELECCIÓN DEL DISEÑO	9
4.1 <i>Primera opción:</i>	10
4.2 <i>Segunda opción:</i>	10
4.3 <i>Tercera opción:</i>	11
4.4 <i>Optimización de las placas de sujeción</i>	16
4.5 <i>Explicación del diseño (en función de cada elemento importante)</i>	20
5. Funcionamiento de la máquina y cálculos	25
5.1 <i>Factor de giro y calculo de la longitud de la correa</i>	25
5.2 <i>Materiales del molde y piezas a procesar</i>	27
6. Propiedades del material a procesar	28
6.1 <i>Parámetros de la norma ASTM D695-02</i>	28
6.1.1 <i>Definición del estándar</i>	28
6.1.2 <i>Maquinaria del ensayo</i>	28
6.1.3 <i>Probeta</i>	29
6.1.4 <i>Parámetros del ensayo</i>	29
6.1.5 <i>Resultados que se sacan del ensayo</i>	30
6.2 <i>Parámetros iniciales del ensayo</i>	30
6.2.1 <i>Características de la máquina</i>	31
6.2.2 <i>Características de las probetas</i>	31
6.3 <i>Realización práctica del ensayo</i>	33
6.3.1 <i>Probetas sólidas de resina E55 y Urecastr</i>	33
6.3.2 <i>Probetas del rotomoldeo</i>	34
6.3.3 <i>Probetas impresas</i>	36
6.3.4 <i>Otras características del ensayo</i>	39
6.4 <i>Conclusiones del ensayo</i>	41
7. PRESUPUESTO	43
7.1 <i>Presupuesto alternativo</i>	44
8. CONCLUSIONES	47
9. BIBLIOGRAFIA ASOCIADA AL PROYECTO	48
ANEXO	49
10. RECOMENDACIONES	50
11. INTRUCCIONES DE MONTAJE	51
13. PLANOS	59

1. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

En este proyecto de ingeniería se habla de cómo hacer una máquina de rotomoldeo la cual se utilizará principalmente para fabricar piezas de poliuretano para realizar unos ensayos de alta velocidad del departamento de medios continuos y teoría de estructuras de la universidad Carlos III de Madrid. Esta máquina se crea en respuesta a la demanda de piezas que se puedan hacer en un corto periodo de tiempo. Con la máquina de rotomoldeo de este proyecto se tarda en torno a 20 minutos en fabricar una pieza independientemente del tamaño que tenga. Con el proceso que se utilizaba anteriormente, la impresión 3D de las piezas, se tardaba entorno a 3-4 horas en fabricar dicha pieza. Por la técnica de rotomoldeo, gracias al uso de la resina de poliuretano líquida, las piezas salen igual que la pieza modelo que se genera por impresión. Por este motivo la mejora con respecto al proceso anterior es significativa.

Cuando se fabrica una pieza por medio del rotomoldeo, hay una etapa que se tarda más que el sistema anterior. Este proceso es el que involucra a la fabricación del molde de silicona para generar el resto de piezas, el cual tarda 90 minutos hasta que endurece por completo. Este molde se crea a partir de una pieza modelo fabricada por impresión 3D y sobre ella se vierte silicona para formar el molde. A pesar de este tiempo perdido en el desarrollo del molde, la técnica del rotomoldeo supone un avance en la fabricación de las piezas para el ensayo. La razón por la que no importa tanto este tiempo se debe a que el número de piezas que se hace de un mismo tipo, y por tanto con el mismo molde, es muy grande.

Teniendo en cuenta estos criterios se tiene que este proceso si se realiza de un modo óptimo es mucho mejor que el realizado anteriormente. Por esta razón la opción de crear piezas por medio del rotomoldeo es un buen sustituto para el método de impresión 3D.

2. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

El ensayo en cuestión que realiza el departamento de medios continuos y de teoría de estructuras se basa en hacer pruebas de impacto sobre diferentes materiales para ver como se comportan. Estos proyectiles son acelerados por medio de sabots a lo largo de un cañón de 60 mm de diámetro. Es ahí cuando interviene la máquina de rotomoldeo. Esta máquina va a ser la encargada de producir las piezas para acelerar los proyectiles (sabots). Donde por cada ensayo se utiliza un sabot nuevo porque dichas piezas no se reutilizan de una prueba a otra. El método del rotomoldeo mejora la cadencia de piezas respecto a la impresora 3D, esto genera que las pruebas de impacto se puedan hacer con una mayor continuidad y sin sufrir ningún tipo de parón debido a la rotura de estos elementos.

Durante este proyecto se hará uso de software de modelado 3D así como software específico para generar el código de instrucciones (gcode) para que la impresora genere las piezas requeridas. El software utilizado para generar el código para la impresora es el Slic3r que como particularidad es capaz de generar rellenos de las piezas en forma de panal de abeja (honeycomb). Una vez generado el gcode se manda a la impresora que tiene acceso el departamento que es una bq witbox utilizando bobinas de PLA de 3 mm de diámetro. La máquina de rotomoldeo ha sido modelada por completo por el software de modelado 3D SOLIDWORKS®.

Para hacer este proyecto posible se ha estructurado el trabajo de la siguiente forma:

- 2,5 meses para la elección y desarrollo de la máquina.
- 1 mes para la comparación y adquisición de los componentes.
- 3 semanas para ajustar las piezas y montar la máquina.
- 2 semanas para hacer las piezas de prueba y los ensayos.
- De modo continuo a lo largo del desarrollo de la máquina se ha ido redactando la memoria del proyecto.

Por lo tanto para el desarrollo de la máquina de rotomoldeo sea han requerido 4 meses y una semana para crearla desde cero.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1 Introducción a las técnicas de producción de plástico

El rotomoldeo es una de las múltiples técnicas de fabricación que en la actualidad se utilizan para hacer piezas de plástico. Tiene la cualidad característica de poder hacer piezas huecas con diferentes espesores dependiendo de la carga de material que se aplique en el interior del molde. La razón por la que este proceso de producción no es tan conocido como el resto, tales como el de inyección, soplado, extrusión, etc, se debe a que con este método solo se pueden hacer piezas huecas, lo cual reduce mucho el ámbito industrial al que va dirigido. Otra de las causas es la capacidad de fabricación, mientras que otro proceso similar al rotomoldeo, el soplado, es capaz de tener una gran producción, el rotomoldeo no tiene tanta capacidad y su producción se restringe a una producción pequeña de piezas.

Las técnicas de producción de piezas de plástico alternativas y que sean capaces de tener una amplia producción son las siguientes:

- **Extrusión**

Con este proceso se generan piezas de manera continua por medio de un tornillo sinfín que sirve para cargar el material constantemente. Debido a esta característica las piezas finales son alargadas y de perfil constante tales como los tubos. El proceso productivo sigue las siguiente etapas: El plástico se carga en forma de polvo al principio del tornillo sinfín donde las paredes se calientan para que el polvo de plástico se funda y así poder pasarlo más fácilmente por la boquilla con la geometría final que se quiera. Hay que tener en cuenta que los termoplásticos extruidos se expanden una vez salen de la boquilla de extrusión, por tanto la forma de la boquilla se tiene que hacer de tal forma que tras la expansión, el plástico adquiera la forma final. Estas son las diferentes geometrías utilizadas para las formas finales más utilizadas.

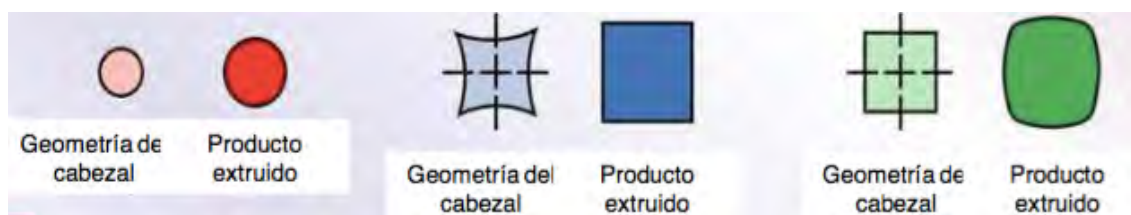


Figura 1: Boquillas de los eyectores.

- **Inyección**

Este proceso es análogo al anterior, pero en vez de tener un proceso continuo, la boquilla inyecta el plástico a presión en un molde con la geometría de la pieza final. Dicha presión se debe mantener hasta el completo enfriamiento del plástico para asegurar una mayor uniformidad en el material y un mejor acabado. El molde, para enfriar la pieza, tiene unos conductos por los que circula agua y así poder reducir los tiempos de fabricación para tener una mayor producción.

- **Soplado**

El sistema de soplado es análogo al de inyección, pero la variación que tiene con el anterior es que el plástico no se introduce a presión en el molde, sino que la pieza, que ha de ser hueca, se le introduce aire generando la pieza final. Por lo general estas piezas suelen ser de pequeño espesor y la geometría que se copia del molde se halla por la parte que no se inyecta el aire.

BLOW MOLDING PROCESS

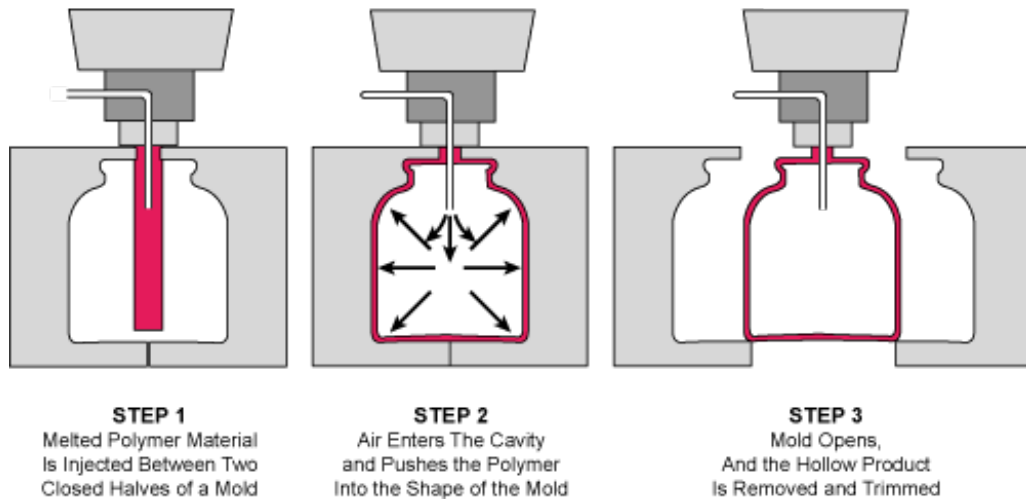


Figura 2: Ejemplo de pieza fabricada por soplado.

- **Por Vacío**

Este proceso utiliza justo el sistema contrario al de soplado, donde en vez de inyectar aire en el plástico se genera el vacío. Por un lado se tiene una lámina de plástico calentado y por tanto viscoso, y por el otro, además de la salida del aire para generar el vacío, se encuentra el molde con la geometría final que se quiere.

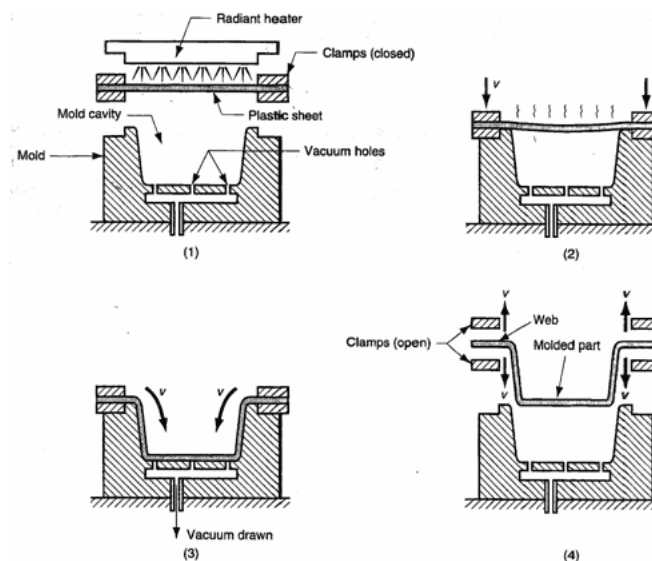


Figura 3: Proceso de fabricación por medio de vacío.

- **Calandrado**

El calandrado se utiliza principalmente para fabricar laminados de plástico. Esto se produce haciendo pasar el plástico proveniente de un proceso anterior de extrusión por una serie de rodillos para obtener el grosor que se quiera. Para tener el grosor requerido se modifica la distancia existente entre los rodillos pudiéndose hacer de forma gradual como si se tratara de un acero.

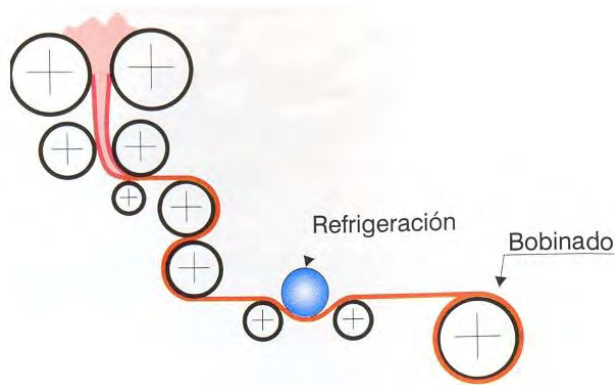


Figura 4: Ejemplo de calandrado.

3.2 Tipos de rotomoldeo

Como su nombre mismo indica, este proceso se basa en el giro para conformar la pieza. Dicho giro para que genere una pieza completa de 360° debe de ser en dos ejes (biaxial), uno horizontal y el otro perpendicular a éste para poder abarcar todo el rango de las 3 dimensiones del espacio. Si no se abarcan los citados 360° la pieza puede sufrir variaciones de espesor o vacíos en las partes donde no se llegaba a hacer un giro completo. El método por el cual se va formando la pieza se realiza por gravedad principalmente, ya que por norma general la máquina tiene velocidades de rotación pequeñas.

Dentro de la técnica del rotomoldeo se integran distintas formas o tipos, los cuales dependen de la cadencia de producción que se quiera, geometría y tamaño de las piezas. De acuerdo con esto se tienen los distintos tipos:

- **Tipo “Rock and Roll”**

Este tipo es el utilizado para la producción de piezas de gran tamaño. Su funcionamiento se basa en un giro en torno a un eje, que viene dado por la dirección longitudinal de la pieza, y en vez de tener un eje de giro secundario, se tiene un movimiento de vaivén de aproximadamente 45° ya que la energía necesaria y el espacio que hay disponible no permiten un giro completo. Un buen ejemplo de piezas hechas por este método son los kayaks.

- **Tipo Clamshell o concha**

En este tipo, la estación de calentamiento y de enfriamiento se alojan en el mismo lugar por lo que es un método muy compacto y se caracteriza por tener tan solo un brazo que puede anclar desde un punto o dos a la pieza rotada según su tamaño y peso.

- **Tipo carrusel**

El de tipo carrusel es el que mejor cadencia de producción tiene debido a que se pueden utilizar hasta cuatro estaciones a la vez (carga y descarga, calentamiento, pre-enfriamiento y enfriamiento). Dentro de este tipo se tienen a su vez otra subdivisión: la de brazos dependientes y la de brazos independientes. Como su nombre mismo indica cada brazo principal que está en cada estación puede actuar de forma independiente o dependiente del resto de brazos, siendo el independiente mejor debido a que se pueden hacer más operaciones al mismo tiempo, porque mientras se hace la descarga y carga del material el resto de brazos pueden seguir girando, pero esto implica tener un diseño de la máquina más complejo.

- **Tipo Shuttle o lineal**

Se basa en utilizar una plataforma donde se aloja la pieza y ésta avanza por las distintas estaciones de calentamiento y enfriamiento por medio de unos carritos que soportan los marcos que rotan de forma biaxial. Para maximizar la producción de piezas se suelen utilizar varios carritos a la vez para que, cuando uno esté en la estación de calentamiento, el otro esté en el de enfriamiento y así poder duplicar la producción. Lo mejor de este tipo de rotomoldeo es el espacio empleado para la maquinaria, que para tener una capacidad productiva parecida a la de tipo carrusel, la de tipo *shuttle* ocupa mucho menos espacio.

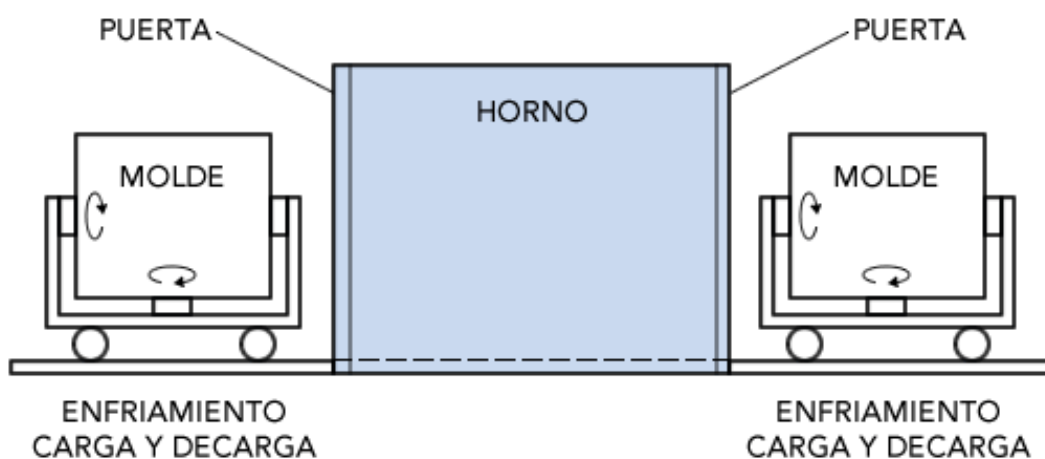


Figura 5: Rotomoldeo tipo *shuttle*.

Estos distintos tipos de máquinas de rotomoldeo son los que existen en la actualidad en el ambiente industrial capaces de fabricar lotes grandes de piezas. También existen sistemas cuyo fin es la fabricación de piezas con un número pequeño de unidades, los cuales debido a su baja productividad son sistemas sencillos. En este grupo se alojarían sistemas de rotomoldeo de un brazo o con sistema de marcos perpendiculares. Este ultimo tipo es el utilizado para este proyecto.

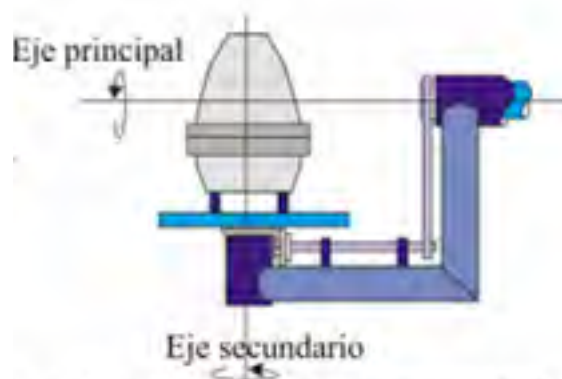


Figura 6: Sistema biaxial de un solo brazo.

3.3 Materiales

Por lo general en este proceso de fabricación se utilizan termoplásticos los cuales se reblandecen con un aumento de la temperatura y se endurecen al enfriarse. Esta capacidad es muy buena para poder meter el plástico ya líquido en el molde o en forma de grana, dependiendo de si el molde se calienta o no, para que así el plástico vaya conformando la pieza creando la geometría posándose el plástico sobre los bordes del molde mientras gira. Por otra parte también se pueden utilizar termoestables pero éstos deben ser en forma de resina que se vierten en el molde en forma líquida para que así el proceso de formación del polímero y el endurecimiento se produzca dentro del molde mientras éste último rota.

En la actualidad en la industria se utilizan principalmente termoplásticos donde para hacer que el plástico fluya dentro del molde debe de ser calentado hasta la temperatura de fusión del plástico, que rondan los 200°C, por lo que el molde debe de ser calentado. Específicamente, el termoplástico más utilizado es el polietileno en sus diferentes formas (reticulado, de alta densidad HDPE y el de baja densidad LDPE) agrupando más del 80% de la industria del rotomoldeo. El resto, en orden de importancia se encuentran el PVC, polipropileno (PP), poliésteres insaturados, etc. Los termoplásticos son los más idóneos para este proceso por que al calentarse a una cierta temperatura se vuelven líquidos sin que se degraden como pasa en los polímeros termoestables. Una vez se vayan enfriando se endurecen poco a poco haciendo que la pieza se vaya haciendo capa a capa formando un único sólido.

Además de los termoplásticos, también se pueden utilizar termoestables, pero dicho polímero tiene que ser tipo resina bicomponente. La razón por la que dichos termoestables deben de ser en resinas se debe a que los termoestables cuando son

calentados en vez de fundirse y tener forma líquida, se degradan y las cadenas poliméricas, que es lo que forma el polímero, se rompen. Esta resina bicomponente se compone de dos monómeros, que integran el polímero, en forma líquida que al juntarlos, por medio de un proceso de emulsión, se genera el polímero bicomponente. Este proceso es irreversible por tanto una vez producido el termoestable, dicho polímero no puede volver a un estado de fluencia como pasa en los polímeros termoplásticos.

4. ELECCIÓN DEL DISEÑO

Para elegir el diseño hay que saber cual es el fin al que va dirigido la máquina. En este proyecto del desarrollo de una máquina de rotomoldeo tendrá la utilidad de crear sabots de ensayos balísticos para el departamento de medios continuos y teoría de estructuras de la universidad Carlos III de Madrid. Estas piezas, por motivos de diseño del ensayo, no excederán un diámetro de 60 milímetros (tamaño del cañón utilizado en el ensayo para acelerar los proyectiles) y una longitud de 200 milímetros. Teniendo esto en cuenta, se delimita el tamaño mínimo que se puede hacer la máquina de modo que sea válida. El diseño seguirá un modelo por el que la máquina será compacta y que se pueda fabricar y montar de la forma más sencilla posible. Por esta razón ninguno de los diseños iniciales no llegan a ser igual de grandes que el diseño final debido a que todos los elementos tienen que encajar en la máquina final. La maquina final por tanto es el diseño más grande de todos los propuestos ya que sino, con el giro de la máquina, habría elementos que chocasen entre sí produciendo la rotura de la misma.

Siguiendo esta lógica, se propone un boceto inicial de cómo hacer el marco exterior que supone la parte más problemática en cuanto a diseño se refiere. Esto se debe a que el marco exterior, que gira entorno a un eje horizontal, también tiene que generar o transmitir el movimiento del marco interior, que en esta máquina gira en un eje vertical. El movimiento de ese marco secundario o interior se lleva a cabo a través de un sistema de poleas y engranajes. Para transmitir el movimiento final de dicho marco, se hace pasar un eje atravesando el medio del marco principal para que el secundario se halle centrado en la estructura.

Teniendo en cuenta esas premisas, se diseña el marco exterior de modo que sea fácil de fabricar y suponga una mayor simplicidad en el montaje de la máquina. Los primeros tres modelos propuestos son simples y fáciles de fabricar y vendrán definidos según se pueda suministrar los materiales de una manera rápida. Estos diseños vienen caracterizados por la geometría del marco exterior, el cual puede estar hecho por medio de una chapa de aluminio, tubos rectangulares o tubos circulares. Para hacer la máquina lo más ligera posible todos los perfiles son de pequeño espesor ($\approx 1,5$ milímetros) y se baraja la idea de hacerlo de diferentes materiales como aluminio, PVC o acero, dependiendo de la rigidez que se quiera para la máquina.

Aquí están las tres propuestas ordenadas según sea menos válida a más válida a la hora de su utilidad de cara a llegar al diseño final de la máquina.

4.1 Primera opción:

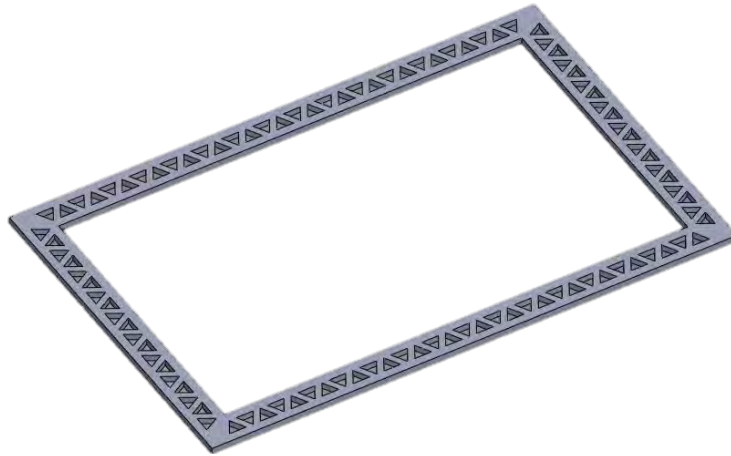


Figura 7: Marco exterior de chapa de acero cortada por laser.

Como se puede ver en este modelo, se utilizan geometrías simples en cuanto al marco se refiere, pero a la hora de soportar el eje encargado del movimiento del eje secundario se aprecian algunas complicaciones y, por tanto, se pueden empezar a descartar diseños. Esta geometría, aunque sea la que mejor proporción rigidez-peso tiene, es la más complicada para hacer el montaje. El eje que induce el movimiento de rotación tiene que ser encajado en piezas específicas que se añadirían al marco de tal manera que encajen en el marco para que gire solidariamente. Además del eje que le genera el giro, está el eje que genera el giro al marco secundario, que al ser un marco plano, la varilla debe de tener un cierto ángulo de inclinación para que no roce con el marco exterior. Por estas razones este marco es uno de los primeros en ser descartados.

4.2 Segunda opción:



Figura 8: Marco exterior tubular de PVC.

En el siguiente modelo los ejes de rotación pueden atravesar el marco para que el giro esté centrado en la estructura. Se trata de un diseño ligero al ser tubos de PVC

de 25 milímetros de diámetro y espesor de 1,2 milímetros y se pueden encontrar los materiales en cualquier ferretería especializada haciendo que la construcción y el suministro sea fácil. Por el contrario tenemos que la sujeción del eje que transmite el movimiento de giro del marco interior se complica porque el asiento sobre el marco exterior tiene forma cilíndrica.

En definitiva, si al marco se le pone algún tipo de pieza adicional, no sería una pieza fácil de fabricar o de encontrar, si se optase por esa opción, debido a su geometría. Así quedaría el soporte de ese eje de transmisión del marco secundario.



Figura 9: Marco exterior de PVC con soporte para el eje de transmisión.

4.3 Tercera opción:

El tercer diseño está formado por tubos rectangulares de 30 x 15 milímetros con un espesor de entorno a 1 milímetro. Como con este tipo de geometría la estructura ya es resistente, el material utilizado puede ser tanto aluminio como PVC. Al tener las caras planas se pueden adherir piezas extras a modo de soporte y que queden bien fijadas, no como podría pasar en el perfil anterior con el marco de forma cilíndrica. Además, como ocurría con el diseño de los tubos de PVC, se pueden hacer perforaciones en el medio de los tubos para poder pasar por ahí los ejes que transmitan el giro a los marcos. Sabiendo cual puede ser un diseño viable, se crea un primer modelo para tener una pauta a seguir de cara a hacer iteraciones cada vez más completas, ya que, como se ve en la próxima imagen, es un marco simple donde tiene lo justo para ser funcional, pero podría plantear algún que otro problema a la hora de fabricarlo.

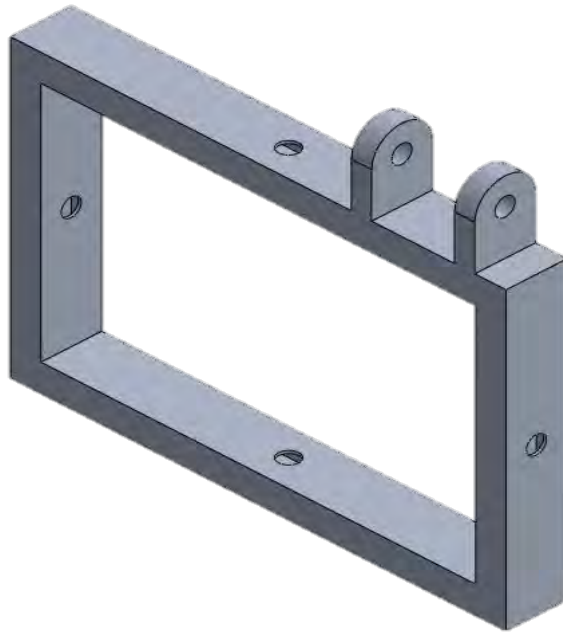


Figura 10: Marco exterior de tubos rectangulares.

Como se puede ver en la imagen anterior, a los soportes del eje de transmisión de giro del eje secundario le faltan mucho para convertirse en algo funcional y que se pueda fabricar fácilmente. A pesar de las posibles complicaciones que puedan ocurrir con este diseño, se realiza un boceto completo de la máquina para ver cuales son los puntos fuertes y débiles de la máquina para poder solucionarlos de cara a la realización del boceto final.

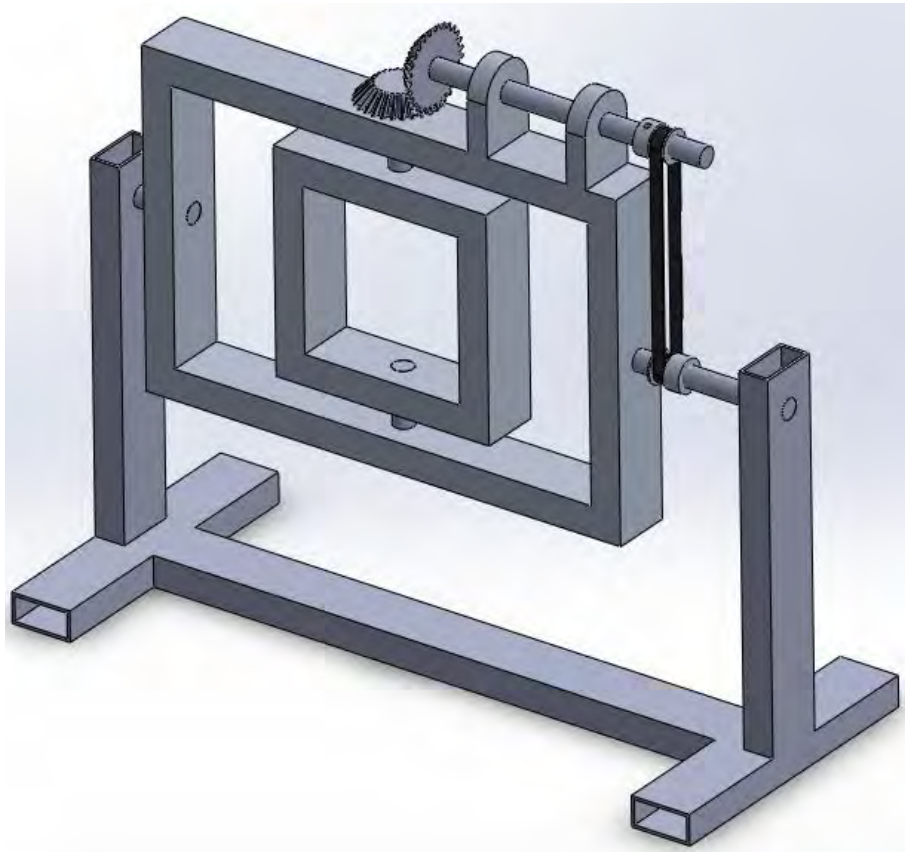


Figura 11: Marco exterior de tubos rectangulares más desarrollado.

Una vez obtenido un diseño más o menos viable, hace falta estudiar como mejorarlo para tener los menos problemas posibles y rigidizar la estructura eliminando cualquier punto débil. Para ello hay que averiguar como hacer las uniones entre tubos lo más estable posible. La mejor posibilidad es poniendo escuadras que estén unidas en un ángulo de 90° a dos tubos a la vez. Esta solución implica que cada tubo se deba de cortar con la máxima precisión para que todo encaje, sobre todo los tubos de los marcos que deben de ser cortados en un ángulo de 45° y así formar las esquinas. Lo mismo pasa con los tubos verticales del soporte, debido a que si no están del todo recto los agujeros no estarán alineados y por tanto hay una alta probabilidad de que la máquina falle. Por estas razones y manteniendo el diseño de la geometría de tubo rectangular se decide utilizar tubos de perfil Nikai de 20 x 20 milímetros.

Con el uso de este perfil no se tienen tantos problemas como se tenían antes a la hora de fijar las partes perpendiculares entre sí. Esto se debe a que hay apliques específicos para el perfil que se encajan en las ranuras del perfil y sirven para anclar escuadras que mantienen fijos dos perfiles formando 90° . Además si se elige bien el diámetro de las varillas que transmiten el movimiento, no se tendrá tanto problema a la hora de realizar las perforaciones sobre el perfil.

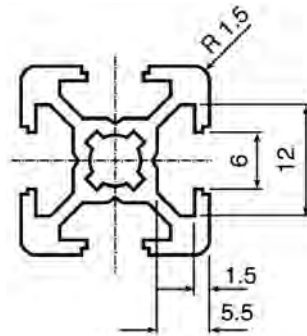


Figura 12: Sección del perfil Nikai.

Como se puede apreciar en la imagen la ranura tiene una abertura de 6 milímetros, por esta razón y para no tener que taladrar más material de lo necesario se opta por utilizar ejes de 5 milímetros de diámetro. Esos ejes están por todas las partes de la máquina debido a que son los ejes de giro de cada marco para así formar una estructura biaxial. El eje principal, el del eje de giro del marco más grande, viene dado por la dirección horizontal, paralelo al suelo, y son las que soportan al marco exterior al ir también atravesando el soporte de la estructura. El segundo eje de rotación, el que hace girar el marco pequeño, tiene un sentido vertical y se transmite gracias a unas varillas que atraviesan el centro del marco secundario y el centro del marco primario. Como el giro de este marco secundario pasa a través del marco primario todo el eje de giro gira junto con el eje primario.

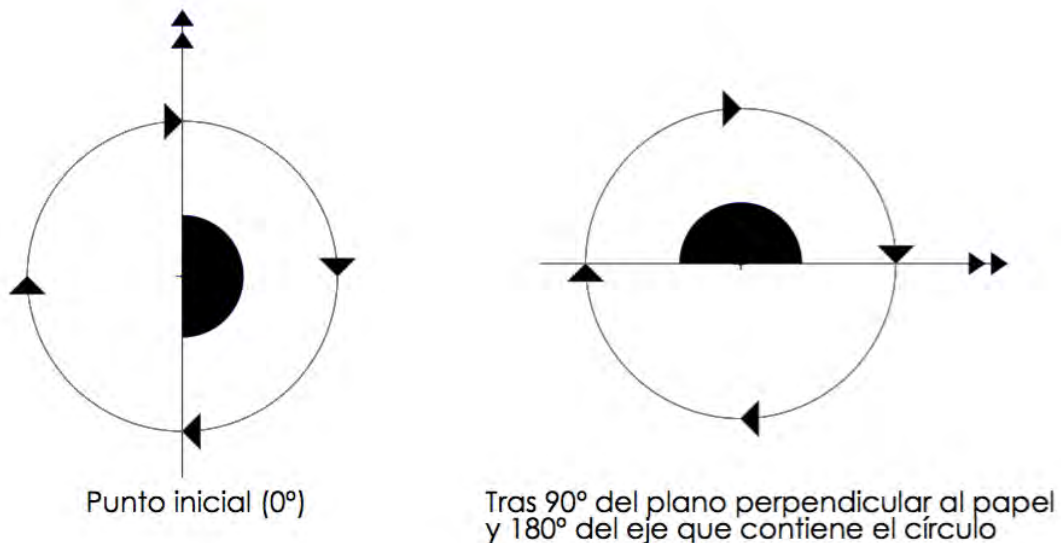


Figura 13: Movimiento biaxial con relación 2:1.

Sabiendo como se hacen pasar las varillas a través de los marcos hace falta saber como se transmite hasta ahí dicho giro y como hacer que los marcos giren solidariamente con las varillas.

El movimiento debe de estar transmitido por toda la estructura debido a que solo hay un elemento que genera el par de giro. Por esta razón hace falta incluir elementos de transmisión de potencia como poleas y engranajes, los cuales irán en el marco exterior para así poder realizar la rotación del marco interior. Para ello se

utiliza un sistema de poleas que transmiten el movimiento desde el eje principal del marco exterior, que a su vez es el eje motriz, hasta una cara del marco exterior. Por eso la importancia de tener un sistema de sujeción de este eje sobre este marco. Este eje de transmisión es paralelo al motriz y por tanto también lo es del principal, para que sea perpendicular a dicho eje y convertirse en un sistema biaxial se utilizan dos engranajes cónicos para transmitir ese movimiento en un ángulo de 90° .

Para que los marcos giren solidariamente junto con las varillas se utilizan unas placas que van unidas a los marcos. Estas placas, de entre 2-1,5 milímetros de espesor, sirven para proteger los marcos del choque que puedan producir las varillas con los perfiles cuando giren, así si se rompe una parte de la máquina, que sea una de las placas, las cuales son fácilmente reemplazables. Estas placas son la clave de la máquina, ya que también son las que soportan todas las partes móviles e impiden que se desalineen los ejes mientras la máquina funciona. Son también las que se utilizan para sujetar rodamientos y la parte del eje comprendida entre las poleas y los engranajes manteniendo el eje recto con respecto a uno de los lados del marco principal.

Solucionando todos los problemas que pudieran haber a la hora de transmitir los giros se realiza un último boceto incluyendo todas las modificaciones citadas.

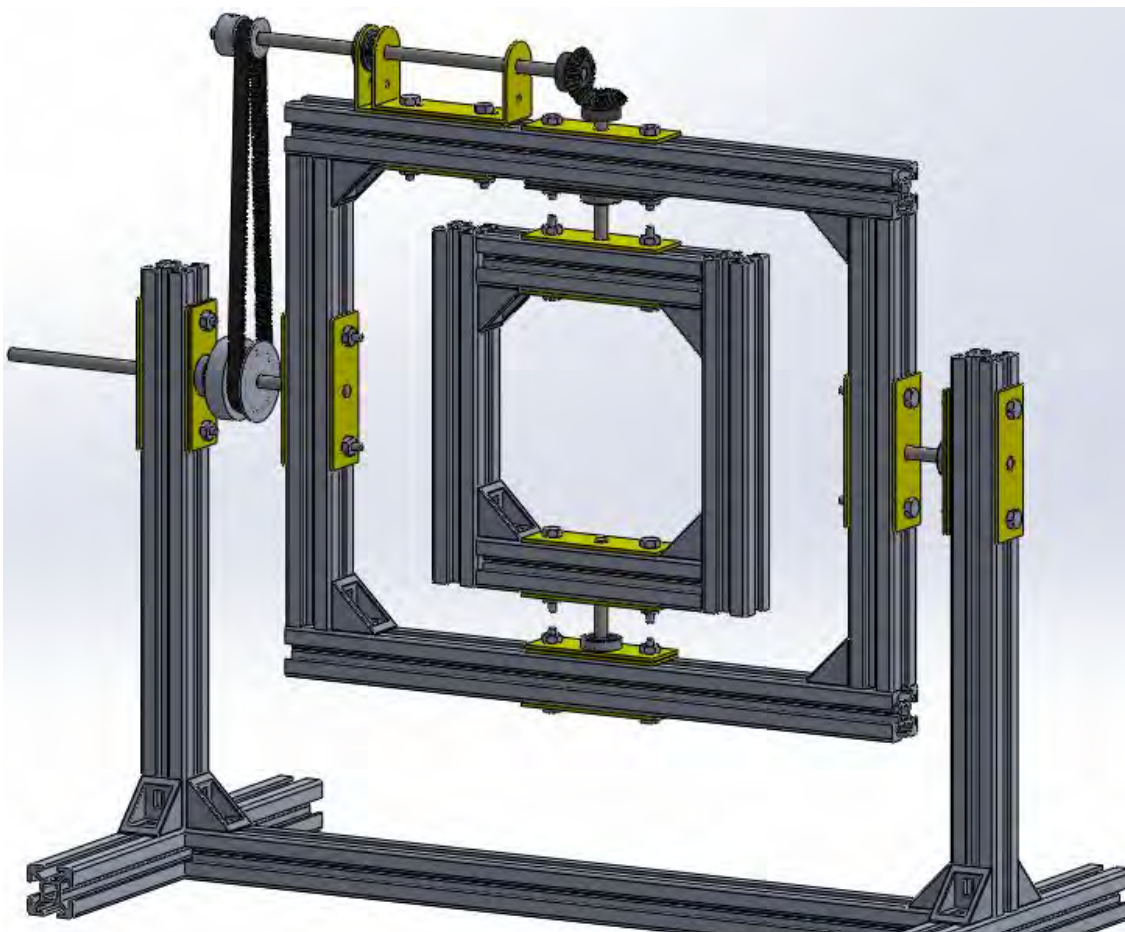


Figura 14: Diseño final sin ninguna evolución de placas.

Las modificaciones posteriores son variaciones menores centradas principalmente en que las piezas sean más fáciles de fabricar. Por esta razón se varía ligeramente el diseño de las placas que soportan los ejes (mostradas en amarillo en la figura 14). Debido a que dichas placas no aportan ningún elemento estructural se deciden hacer por impresión 3D y así hacerlo personalizado para nuestro diseño de máquina.

4.4 Optimización de las placas de sujeción

Desde un primer momento se piensa en hacer unas placas hechas a base de planchas de acero de 1,5 mm de espesor como en la primera opción de diseño (como la figura 7) y con la misma empresa. Teniendo en cuenta las medidas que hacen falta y las operaciones que puede hacer la empresa, la cual hace corte por laser de chapas y el plegado de las mismas. Sabiendo esto se crean unos modelos para pedir un presupuesto a la empresa Lasertek dando como resultado que no se pueden fabricar piezas con dos pliegues separados entre sí una distancia mínima de 12-15 mm. Esto conlleva a rediseñar dos tipos de piezas las cuales están con la denominación: Placas con forma de U, que sirve para soportar el eje de transmisión junto con sus rodamientos y la Placa Rodamiento, que como su nombre indica sirve para aguantar a los rodamientos en su sitio.

La solución a este problema es hacer que las placas forma de U en vez de tener dos pliegues tengan solo uno, y para tener la misma función que con la disposición anterior, pasan de ser 2 a ser 3 elementos. En el caso de la placa rodamiento el planteamiento es el mismo, de ser una placa con diseño de múltiples pliegues, pase a ser un sistema de dos placas planas, una se encarga de separar el perfil del rodamiento y la otra placa se encarga de evitar que se mueva radialmente.

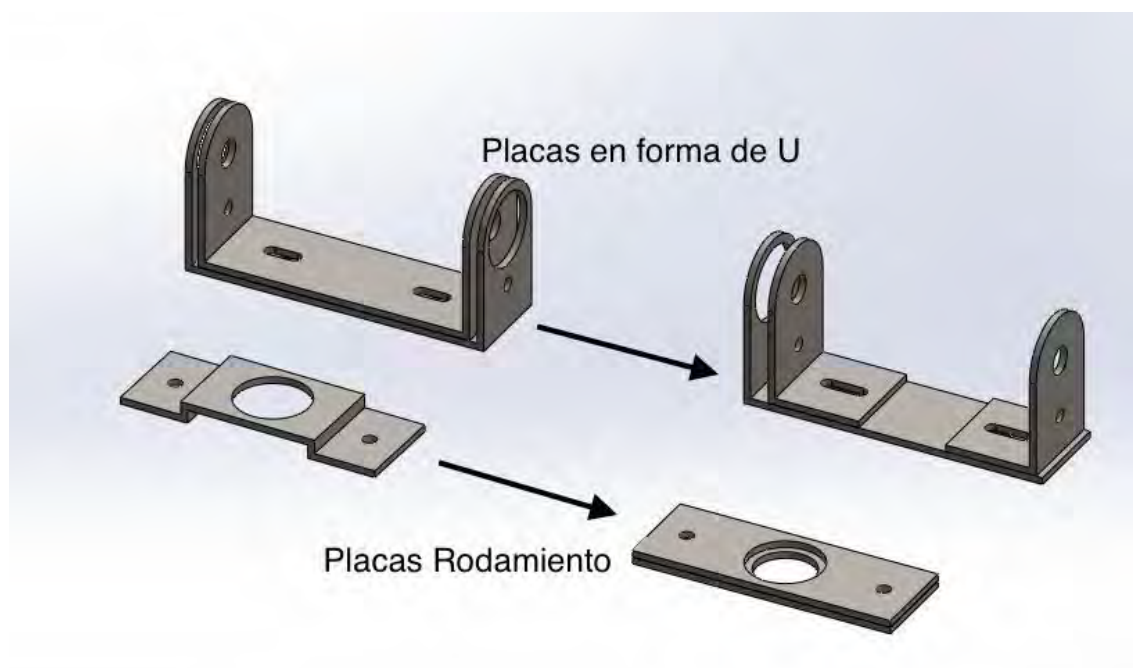


Figura 15: Primera mejora de las placas.

La siguiente modificación es más radical que las anteriores porque no está sujeta a tantas restricciones como las anteriores hechas a base de planchas de acero. En esta evolución se pasa de las citadas planchas de acero a la impresión 3D lo que simplifica todo, desde el precio hasta el diseño. Con este cambio de materiales además se gana en ligereza aunque estas piezas no supongan una carga muy grande dentro del conjunto de la máquina. Con la utilización de este tipo de piezas los sistemas de placas se transforman en una sola pieza con un espesor y una geometría como se quiera dentro las restricciones que tiene la impresora, siendo estas restricciones menores que las que se tenían con el acero.

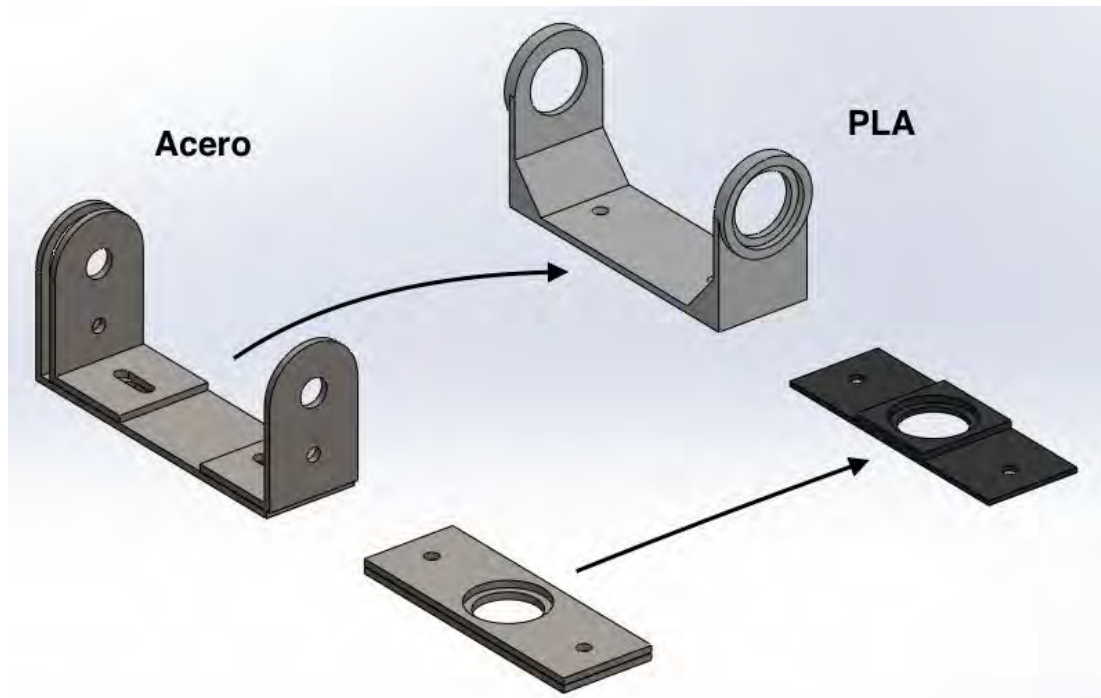


Figura 16: Mejora de chapa de acero a pieza impresa de PLA.

Pese a que parece que estas piezas pueden ser las definitivas a un les falta desarrollarse más para que consigan que la máquina funcione de la mejor forma posible. Esto se consigue haciendo que los elementos que sujetan todo aquello que tenga movimiento, se muevan lo mínimo posible y para ello se ajustan al máximo las tolerancias y se aumentan las profundidades de las placas donde se alojan los rodamientos dando lugar a que el rodamiento apenas se le ve porque se encuentra casi envuelto por la pieza impresa que lo sostiene.

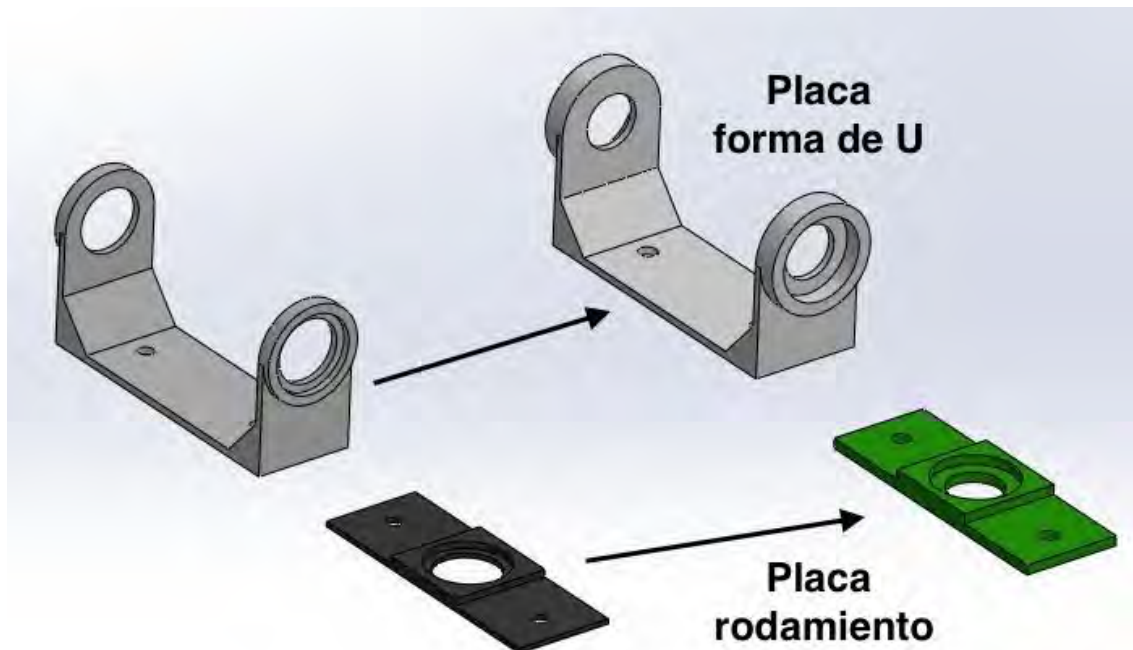


Figura 17: Última iteración de la placa que soporta al rodamiento y la placa forma de U.

Una de las placas que no se ha hablado porque no se ha modificado nada desde que primero se pensó hacer en acero y posteriormente se hace en plástico, es la que hace que los marcos giren solidariamente con su eje correspondiente. En un principio, siendo una placa de acero, ésta iba a presión para transmitir el giro. Al hacerse en plástico es más difícil que la placa aguante el par de giro solo por el hecho de ir a presión. Por esta razón se hace de la siguiente geometría con una abertura circular en la dirección transversal al agujero por donde pasa el eje para hacer pasar por ahí un tornillo prisionero y asegurar de una forma más segura que la placa gire solidariamente con el eje.

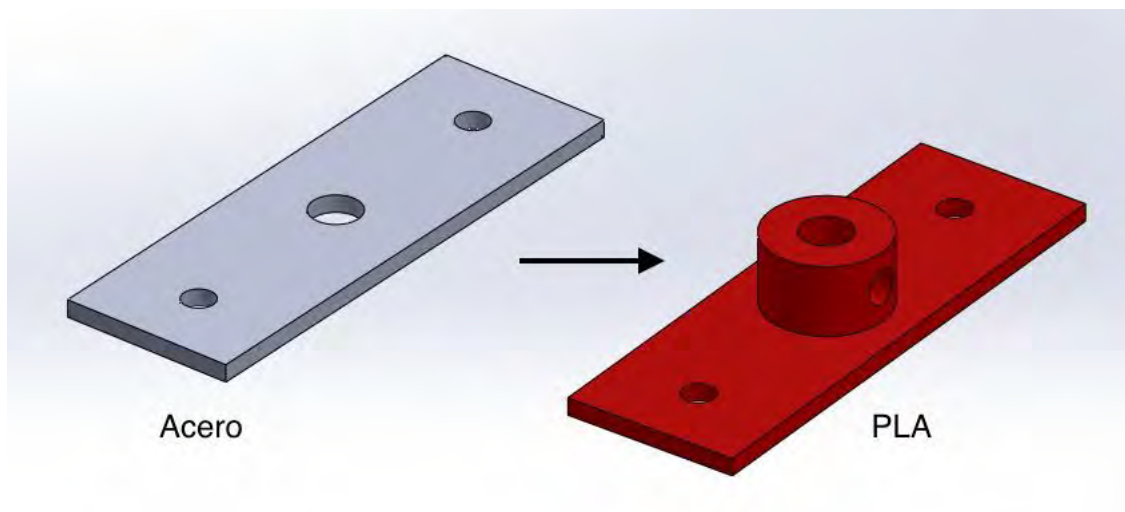


Figura 18: Evolución de la placa de 5 mm.

Haciendo solo un agujero en esta placa se soluciona la transmisión del giro del eje a los marcos, pero se crea otro problema. Este problema se trata de la desalineación del eje que aparece cuando el tornillo prisionero aprieta el eje. La

solución parte en repartir esa fuerza de aprisionamiento en tres para que el eje no se descentre de su agujero. Por esta razón en vez de haber un agujero para el tornillo prisionero hay tres con una diferencia angular de 120° para que así, al estar equidistantes entre sí, se repartan las fuerzas equitativamente en los ejes X e Y del espacio y así mantener el eje recto.

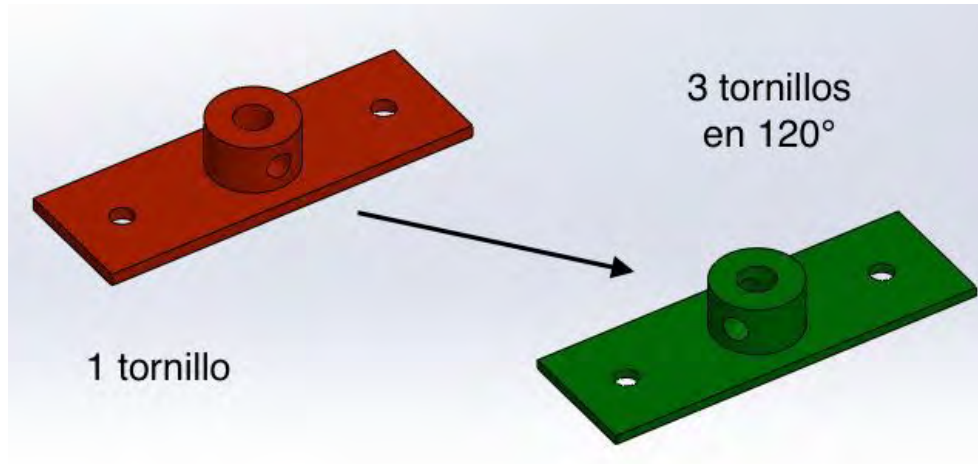


Figura 19: Evolución final de la placa de 5 mm modificada.

Con todas estas modificaciones quedaría concluido el diseño final de la máquina y por tanto el diseño que se utilizará para crear las piezas a través del método del rotomoldeo.

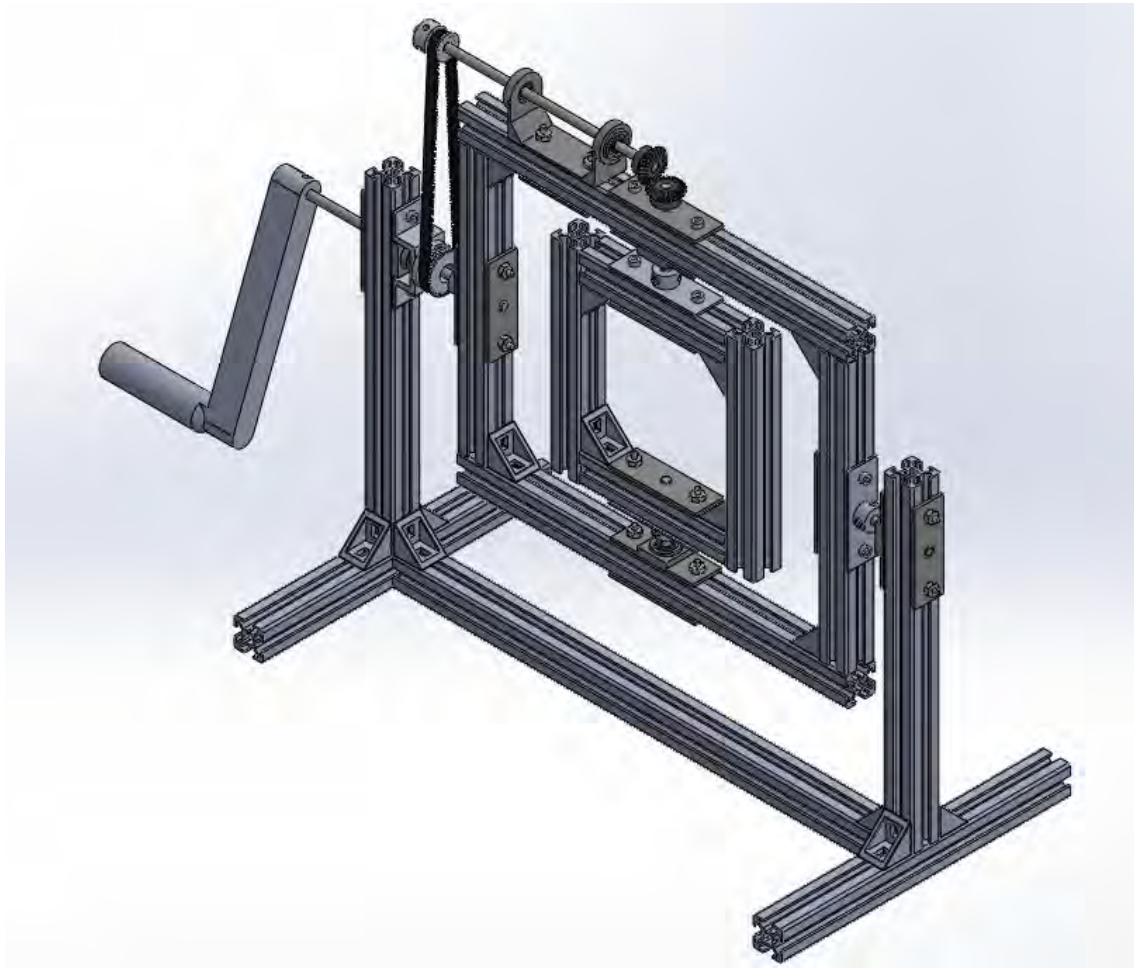


Figura 20: Diseño final (el construido).

4.5 Explicación del diseño (en función de cada elemento importante)

Las principales premisas de construcción son: que sea lo más resistente posible, lo más barato posible sin que perjudique a la resistencia y que sea fácil de hacer y de suministrar piezas. Para ello la mayoría de los componentes provienen de un mismo proveedor, RS Components.

Los **perfiles Nikai** son de aluminio, lo que aporta a la estructura una gran rigidez ayudado también por los encajes que se atornillan a las ranuras que tienen quedando de este modo los perfiles fijos entre sí. Los perfiles se reparten de la siguiente forma en la estructura:

- El marco interior o secundario forma un cuadrado de 100 mm de lado en su parte interior, que va a ser la zona donde se pongan las piezas a fabricar. Este marco está compuesto por dos perfiles de **140 mm** y dos de **100 mm**. A este último se le han practicado 3 agujeros para poder atornillar las placas y hacer pasar los ejes por ahí.
- El marco exterior o primario tiene una forma rectangular dejando un espacio interior de 230 mm x 187 mm. Este marco está compuesto por dos perfiles de **270 mm** de longitud y dos de **187 mm** de longitud. Todos los

perfiles que lo forman se le han hecho unos agujeros para pasar los ejes, en un tipo de perfil (el 270 mm) para pasar el eje que genera el giro secundario, el del marco interior, y en el otro perfil (el 187 mm) para el giro del propio marco exterior. Además de esos agujeros en el perfil más largo se hacen dos agujeros de más para poder atornillar el soporte del eje de transmisión.

- El soporte es la última estructura formada por los perfiles Nikai. Lo constituyen cinco perfiles, dos de **220 mm**, que se colocan en vertical y soporta todo el peso de la estructura; dos de **200 mm**, que funcionan a modo de patas y se colocan transversalmente a la estructura y un perfil de **340 mm** que une los dos perfiles anteriores y se coloca de forma longitudinal a la máquina. En este soporte solo se han hecho agujeros a dos perfiles, estos son los perfiles de 220 mm y se utilizan para pasar los ejes que vienen del marco interior y soportan todo el peso de los marcos.

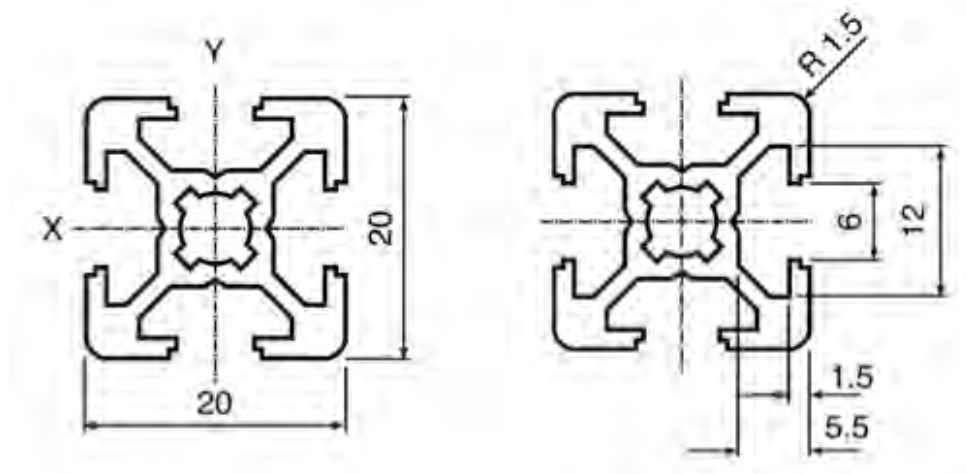


Figura 21: Medidas del perfil Nikai.

Otro elemento importante de la máquina son **las varillas de 5 mm** de diámetro. Estas varillas se utilizan para que los marcos pueden girar y está compuesto de acero inoxidable de dureza 60HRC con una tolerancia h6 (que es una tolerancia de hasta 6 micras por defecto) lo que ayudará a insertar los rodamientos. Los ejes de acero se cortan de modo que se obtengan de ellos 5 varillas de menor tamaño.

En el marco exterior las varillas son las siguientes:

- **Eje motriz** que se encarga de generar todo el movimiento de la máquina y llega hasta el marco exterior, pasando a través del soporte, donde se fija a sus placas para que giren solidariamente. Este eje también pasa por una polea para que el giro se pueda distribuir al marco interior. En el diseño propuesto este eje tiene una longitud de 150 mm.
- Para transmitir el giro al marco interior se utiliza una varilla (**eje de transmisión**) que se encuentra fija a una cara del marco exterior y su movimiento viene dado por la polea antes comentada del eje motriz. A su

vez como esta varilla tiene la misma dirección que el eje motriz, se le añade un engranaje cónico para que pueda transmitir este movimiento en un ángulo de 90° y generar el giro del marco interior y por tanto hacer que el giro sea biaxial. A esta varilla también se le denominará eje de transmisión. Este eje además de tener una polea y un engranaje cónico, contiene dos rodamientos cuya función es mantener el eje en su sitio y ofrecer un movimiento relativo entre las fijaciones y el eje. Este es el eje más importante y más crítico debido a su función y tiene una longitud de 165 mm.

Las varillas del marco interior son las siguientes:

- La siguiente varilla (**eje engranaje-marco secundario**), es la varilla donde el eje de transmisión transmite el giro, tiene una longitud de 80 mm y va desde el marco exterior, atravesándolo, hasta el marco interior al cual se fija para girar como si fuese un solo sólido. Contiene al igual que el eje anterior un engranaje cónico para poder girar perpendicularmente al eje motriz.

Las varillas que no se han explicado se debe a que sus funciones son secundarias. Estas solo sirven como punto de apoyo para que los marcos giren con más facilidad.

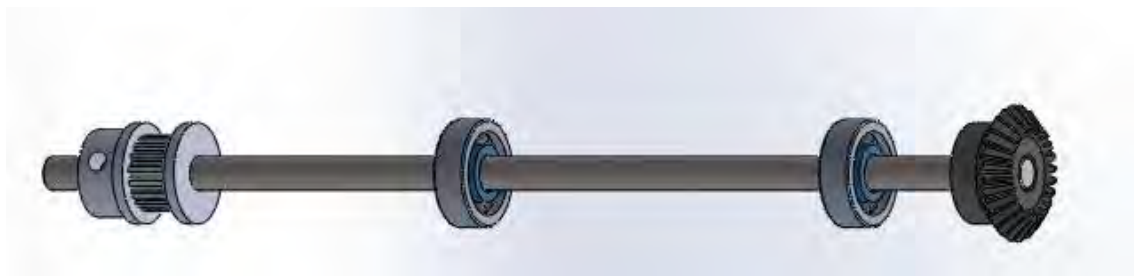


Figura 22: Eje de transmisión con sus componentes.

Las placas, dentro del diseño de la máquina, cumplen una función clave para el funcionamiento de la máquina y para que ésta tenga una mayor vida útil. Hay 5 tipos placas: placas 5 mm, placas 6 mm, placas rodamiento, placa en forma de U y la placa de sujeción.

- La **placa de sujeción** es la menos importante y su única labor es la de ofrecer un punto de apoyo de los tornillos que sujetan la placa en forma de U.
- La **placa en forma de U** sirve para mantener el eje de transmisión a una cierta distancia del marco exterior y que no se mueva. Esto se hace sujetando los rodamientos que tiene este eje para que así no haya problemas de interacción de piezas móviles con piezas estáticas. En la foto anterior se ve claramente ese mismo eje sin la inclusión de la placa en forma de U aunque su localización sería entre los dos rodamientos.

- Las **placas rodamiento** cuya función es muy similar a la placa en forma de U. En este caso además de evitar movimientos del rodamiento tanto radiales como axiales, también sirve para separar la parte móvil, el anillo interior del rodamiento, del marco y que no se produzcan rozamientos innecesarios.

Por último están las placas 5 mm y 6 mm con una utilidad muy parecida entre ellas.

- La de **6 mm** solo sirve para proteger el perfil del giro del eje para que no genere roturas ni en un elemento ni en el otro.
- La de 5 mm tienen dos formas una **5 mm normal** y la **5 mm modificada**. Para distribuir el par de los ejes a los marcos se utilizan las placas 5 mm modificada. Esta placa tiene la característica de tener 3 agujeros separados 120° para que se pueda fijar de la mejor forma posible al eje (en la figura 19 se muestra una placa de este tipo). Estos agujeros llevarán unos tornillos prisioneros M4 para apretar el eje. La utilización de este número de tornillos y su situación angular se debe a que sino el eje sufre desalineaciones y por tanto movimientos no deseados. Las placas 5 mm sin modificar se utilizan solo para que las anteriores no se muevan y también sirven de apoyo para las tuercas además de proteger al perfil del eje.

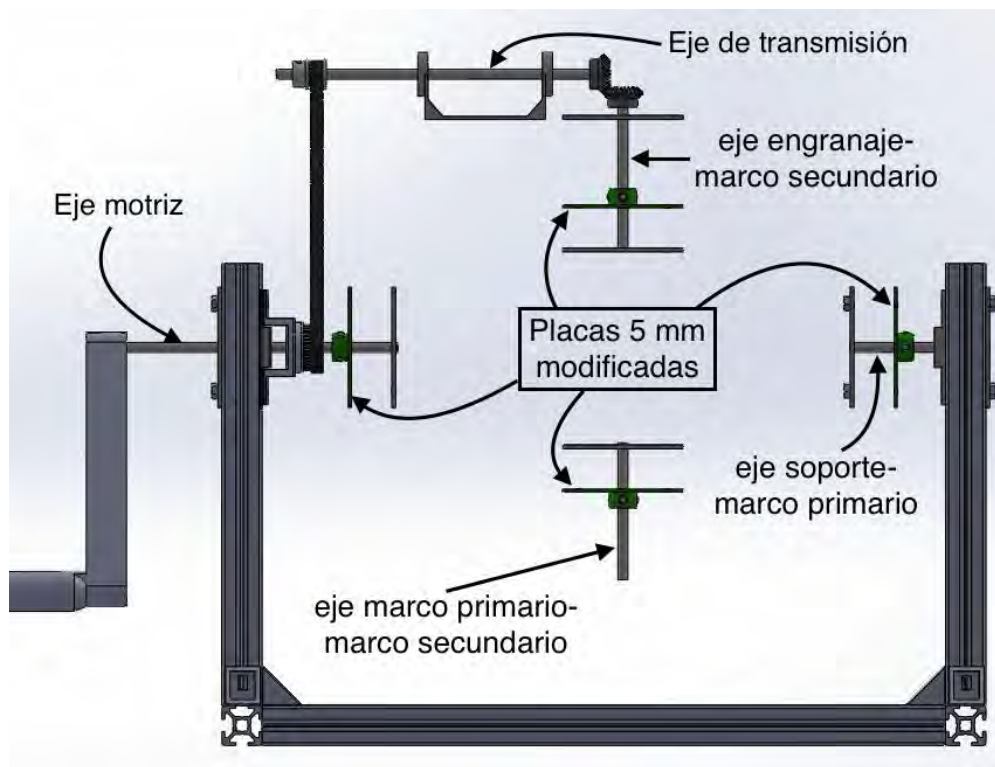


Figura 23: Posición relativa de las placas 5 mm modificadas respecto al soporte y situación de las distintas varillas.

Resumiendo todo lo comentado anteriormente, la siguiente tabla muestra de una manera más visible una lista de todos los materiales utilizados en la máquina:

Tabla 1. Lista de materiales.

LISTA RESUMIDA DE MATERIALES		
Perfiles Nikai	Marcos	2x 100 mm
		2x 140 mm
		2x 187 mm
		2x 270 mm
		2x 200 mm
	Soporte	2x 220 mm
Ejes		1x 340 mm
	Polea - Engranaje	165 mm
	Motriz	150 mm
	Soporte - Marco primario	70 mm
	Marco primario - Marco secundario	70 mm
Escuadras	Engranaje - Marco secundario	81 mm
	Conjunto de escuadras con encaje de 6 mm	x14
	Rodamientos	Tipo 625
	Engranajes de ingletes	Calibre 5 mm y 24 dientes
		x2
Placas de sujeción	Calibre 5 mm y 5 mm mod	x4 + x4
	Calibre 6 mm	x6
	Sujeción rodamiento	x4
	Sujeción simple	x1
	Forma de U	x1
Poleas	36 dientes y 22,78 mm de diámetro de acople	x1
	18 dientes y 11,13 mm de diámetro de acople	x1
Correa	longitud de 325,12 mm y paso de 2,032 mm	x1
Tornillos	M3 con cabeza Allen	x18
Tornillos prisioneros	M4 pavonado	x13
Tuercas	M3	x18

5. Funcionamiento de la máquina y cálculos

Esta máquina se crea para fabricar unas piezas de tamaño reducido, de una forma manual y utilizando unos recursos básicos. Todo esto condiciona el tipo de máquina, su tamaño y los materiales utilizados para hacer las piezas. Por estas razones estas son las características particulares de la máquina.

5.1 Factor de giro y calculo de la longitud de la correa

Un sistema de transmisión formado por dos poleas y una correa viene caracterizado por el giro de una de ellas, la cual se le denominará como polea conductora, y la otra que tiene un movimiento condicionada por la primera se le denomina conducida. Esta teoría es válida para aquellos sistemas donde el movimiento de las poleas solo es de giro simple. En el rotomoldeo una de las poleas gira alrededor de la otra como si de planetas se tratase.

Si el sistema de poleas implementado en la máquina de rotomoldeo siguiese el mismo modelo de transmisión de movimiento simple se tendría un movimiento nulo en la considerada como polea conducida (la segunda polea). La razón de esta falta de movimiento viene dado por la velocidad relativa entre la correa y la polea “conductora”, que como la polea “conducida” tiene la misma velocidad angular que la polea “conductora”. Entonces para que la polea “conducida” tenga un giro simple, tiene que haber un giro relativo entre la correa y la polea “conductora”. Para hacer eso posible la única opción es que la polea “conductora” esté estática (a partir de ahora polea estática). Generando ese movimiento relativo entre la correa y la polea estática, la polea conducida se mueve gracias al movimiento de traslación de dicha polea alrededor de la polea estática. Con este movimiento la correa es la que hace el trabajo de la polea conducida y es ella misma la que va engranando dientes sobre la polea estática y generando un movimiento en la correa pudiéndose ser transmitido a la polea conducida que se encuentra sobre una de las caras del marco exterior.

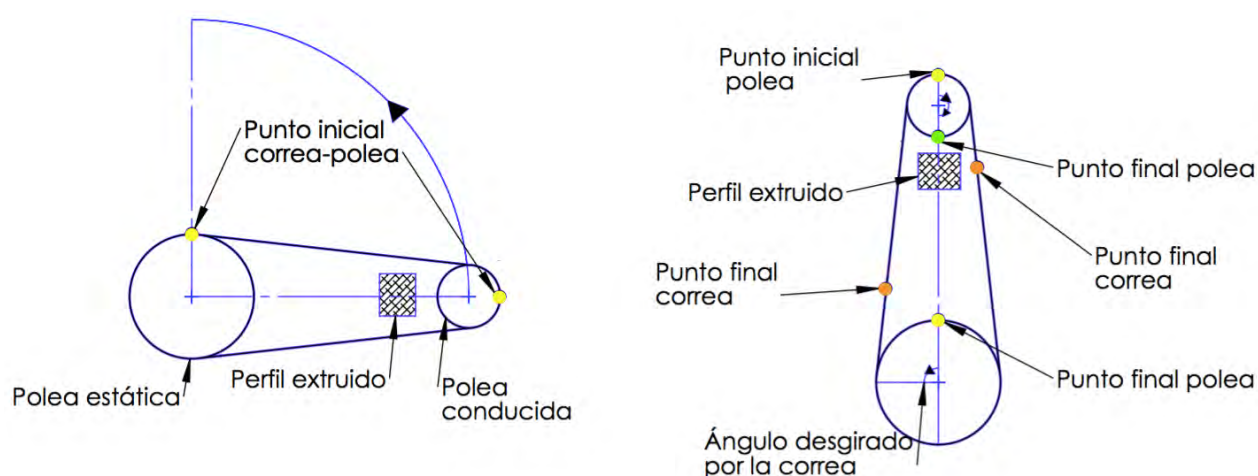


Figura 24: Movimiento relativo de la correa y las poleas

Una vez generado el movimiento en los dos marcos ortogonales falta por tratar la relación de giro que deben de mantener ambos ejes para que el giro sea óptimo en ambos ejes. Para ello hay que saber las geometrías a desarrollar y como se van a colocar dentro de la estructura. La colocación del molde y la pieza a fabricar se hacen según la facilidad a la hora de cargar el material dentro del molde y para que la máquina sea lo más compacta. De esta forma y tomando estas condiciones de diseño, se decide poner las piezas de modo que su dirección longitudinal sea transversal a los marcos y por tanto también a sus ejes de rotación.

Pese a que con este rotomoldeo se van a hacer multitud de piezas y con distintas relaciones de aspecto se elige una relación de giro de los marco de 2:1 siendo el marco que más gire el marco interior.

Haciendo dicha elección de giro hace falta saber el tamaño de las polea para que se cumpla la relación de giro estimada anteriormente. Para ello se utiliza una polea de 36 dientes para la polea estática y 18 dientes para la polea que va encajada en el eje de transmisión del eje secundario.

Sabiendo las características de las poleas hay que buscar una correa cerrada acorde con nuestras especificaciones. Teniendo escogidas las poleas que se van a utilizar se realiza el cálculo de la longitud necesaria para la correa. Sabiendo los diámetros de engrane de las dos poleas, 11,13 mm para la polea de 18 dientes y 22,78 mm para la polea de 36 dientes, y la distancia a la cual se quiere transmitir el giro, 136 mm, se utiliza una fórmula para saber la longitud de la polea.

$$L_p = \pi \frac{(D_1 + D_2)}{2} + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4a} + 2a$$

Siendo:

D_1 = el diámetro de la polea de menor tamaño (11,13 mm)

D_2 = el diámetro de la polea de mayor tamaño (22,78 mm)

a = la distancia entre centros (136 mm).

Con estos datos se obtiene que la longitud de la correa debe de ser de $L_p = 325,49$ mm. Por tanto viendo el catalogo de productos de RS Componentes se elige la correa con una longitud de 325,12 mm. (12,8 pulgadas).

Para que el movimiento fuese más fluido por parte del sistema de transmisión polea-correa se le ha puesto un tensor. Se trata de un elemento que se encuentra situado por dentro del perfil. Su función es la de generar una tensión extra en la correa, además gracias a su posición, hace que la polea pequeña tenga más dientes engranados al mismo tiempo haciendo que se disminuya la posibilidad de que haya deslizamiento entre los dientes de la polea y los dientes de la correa.

5.2 Materiales del molde y piezas a procesar

En la técnica del rotomoldeo y en la industria del procesamiento del plástico en general, se utilizan termoplásticos para confeccionar las piezas, ya que este tipo de plásticos se pueden comprar muy fácilmente, en forma de granza o pellets, y para dar forma a la pieza se calienta hasta que el plástico fluya. Una vez caliente se introduce en el molde y se deja enfriar adquiriendo la forma deseada. Sin embargo, como este rotomoldeo no se va a utilizar de una forma tan intensiva, se utiliza una forma de procesamiento en frío utilizando unas resinas bicomponentes de poliuretano, la resina E55 y la Urecast, ambas de la tienda Ferocha. Estas resinas fraguan entorno a unos 10 minutos tras la mezcla homogénea de los dos monómeros que constituyen la resina. Para crear el molde de las primeras piezas a generar por el rotomoldeo, que son las piezas utilizadas para hacer los ensayos posteriores, se ha modificado una de las probetas impresas adhiriendo una estructura tipo T para que se mantenga en su sitio y se pueda hacer el molde de la forma más homogénea posible. Esta pieza se introduce en un vaso de plástico que se utiliza para contener la silicona y de ese modo hacer el molde con la pieza impresa a modo de pieza modelo. En la siguiente imagen se muestra una fotografía de la pieza que se ha utilizado como pieza modelo.

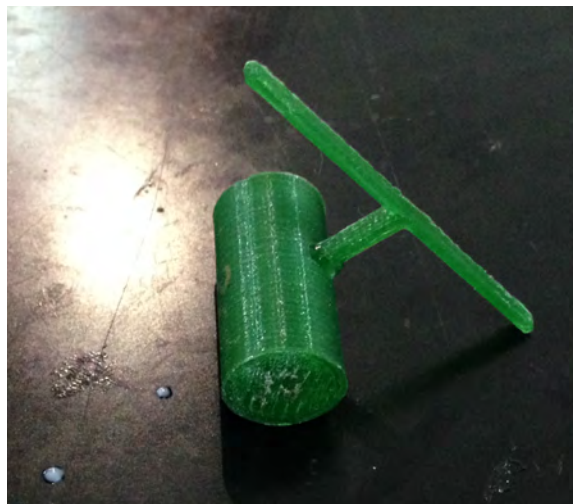


Figura 25: Pieza modelo para el molde.

Los moldes, en el caso de las piezas hechas de prueba que serán utilizadas para realizar un ensayo de compresión, se realiza con la silicona Silastic 3481 también de Ferocha que tarda en endurecer 24 horas pero gracias a la utilización de un agente de curado este tiempo se reduce a tan solo 90 minutos con un tiempo de preparación de 8 minutos. Su función es la de contener el material líquido del plástico bicomponente y generar la geometría de la pieza requerida.

6. Propiedades del material a procesar

6.1 Parámetros de la norma ASTM D695-02

6.1.1 Definición del estándar

Para comprobar las propiedades mecánicas de los materiales que se disponen (resinas de poliuretano) para utilizar en la máquina de rotomoldeo se le van a hacer una serie de pruebas de compresión.

Para realizar estas pruebas, se sigue la norma de estandarización D695-02a de la American Society for Testing Materials (ASTM) para que los resultados puedan ser verificados de forma internacional. Esta norma es la que regula como se deben de hacer las pruebas de compresión a plásticos rígidos, como es el caso de los materiales utilizados para procesar en el rotomoldeo. Esta norma regula los parámetros en los que se debe realizar los ensayos. La D695-02a se basa en la realización de ensayos de compresión de plásticos rígidos, los cuales pueden estar reforzados o no reforzados. En la realización del ensayo también se estipula como debe ser la probeta al igual que como realizar el proceso de carga. La norma de ASTM D695-02a es técnicamente análoga a la norma internacional ISO 604 solo que varía la forma de probeta utilizada.

En el ensayo de compresión se sacan datos tales como el módulo de Young, punto de fluencia, deformación tras el punto de fluencia y la resistencia a compresión. Éste último puede que no se pueda sacar si el material en vez de fracturarse o no tener ninguna discontinuidad en la carga aplicada alcanza un punto donde la probeta se transforma en un disco plano mientras se aplica dicha carga.

6.1.2 Maquinaria del ensayo

La maquinaria para hacer el ensayo debe ser estándar o al menos que cumpla los requerimientos mínimos que propone la norma.

- Máquina de ensayo → Ésta debe de ser capaz de medir la fuerza o carga aplicada sobre la probeta y sin tener en ningún caso inercia que modifique los resultados. También debe tener un mecanismo para controlar la velocidad a la que se hace el ensayo ya que como se explicará posteriormente esta norma también dicta la velocidad del ensayo.
- Herramienta de compresión → Este ensayo se hace con una probeta puesta verticalmente y por ello la compresión se debe ejercer la carga con unas superficies planas, horizontales al suelo y paralelas entre sí para garantizar que se aplica una carga uniforme a la pieza ensayada. Esta herramienta de compresión también debe de tener una plaquita de sujeción para que la probeta no se mueva durante el ensayo y un dispositivo que permita medir la

distancia recorrida o la distancia entre las dos superficies planas para poder saber cual es la deformación de la muestra.

- Calibre → Debe de tener una precisión mínima de 0,01 mm y se utiliza para verificar las cotas de la probeta para poder corroborar que se ajusta a los márgenes del ensayo estandarizado.

6.1.3 Probeta

El diseño de la probeta depende del uso que se le vaya a hacer dichas piezas hechas con el plástico en cuestión. La norma estándar D695-2a establece distintas geometrías, desde prismática hasta cilíndrica dependiendo de si es un plástico laminado o reforzado, piezas de pared gruesa o de paredes delgadas, etc. Las probetas estándar de ensayo que rige esta norma suelen tener una relación de esbeltez comprendida entre la unidad (1:1) y del doble de longitud que su sección (2:1), aunque no es raro encontrarse probetas con relaciones de esbeltez entre 11 hasta 16:1. Para el ensayo que se va a realizar, se va a optar por una de las geometrías estándar donde su base tiene un diámetro de media pulgada (12,7 mm) y una altura de una pulgada (25,4 mm), dando así una relación de esbeltez de 2:1.

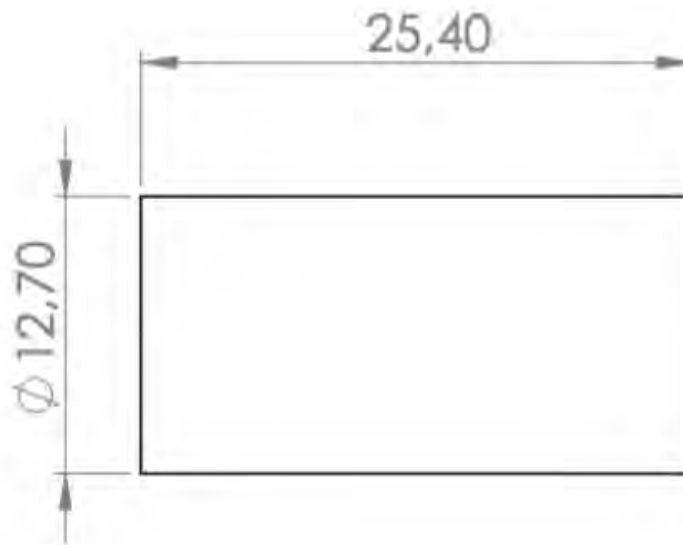


Figura 26: Probeta que se va a utilizar para cumplir la norma.

6.1.4 Parámetros del ensayo

El ensayo se ha de realizar en un entorno adecuado y controlado, ya que el test debe de hacerse a una temperatura entrono a los 23°C. Además de las condiciones ambientales, también se tiene que regular la velocidad a la que se realiza el ensayo debido a que en un principio es una prueba estática y si la velocidad aumenta demasiado no se podría contar como tal. Esta velocidad ha de ser de 1,3 mm/min aproximadamente aunque, cuando el material pasa su punto de fluencia, se puede aumentar la velocidad hasta los 5-6 mm/min hasta que se produzca la rotura del material.

Para dar por buenos los resultados del ensayo, se deben hacer pruebas a al menos 5 probetas por cada muestra estudiada en materiales isotrópicos. Para los anisotrópicos, se deben hacer 5 pruebas por cada eje de anisotropía, por tanto hasta un total de 10 muestras. Si las muestras presentan algún tipo de fallo por el cual hace que rompan debido a esto, estas pruebas deben de descartarse y volverse a repetir. Si dichos fallos constituyen una variable no se descartan esas piezas.

6.1.5 Resultados que se sacan del ensayo

Si se ha seguido los pasos según indica la norma los resultados que establece el estándar como válidos son los siguientes:

- Resistencia a compresión → Calculada por medio de la división de la máxima carga aplicada a la pieza y la sección mínima de la pieza al principio del ensayo.
- Resistencia a fluencia de compresión → Viene dado por el punto por el cual la pieza deja de tener un comportamiento elástico, para tener uno plástico (punto de fluencia). Su valor se calcula por medio del valor que tiene esa carga entre el área transversal del inicio de la probeta.
- Módulo de elasticidad → Se calcula mediante la tangente de la parte lineal de tensión-deformación siendo ésta calculada en gigapascuales (GPa). A este término también se le llama módulo de Young.
- Carga máxima → Es la carga máxima que alcanza la probeta en el momento del ensayo. Suele darse durante la zona de plastificación justo antes de romperse la pieza.
- Rigidez en función de la deformación → Este valor vendrá dado para sustituir el módulo de elasticidad. Se aplicará a las piezas que se han ensayado y no tienen una sección transversal constante lo cual corresponde con las probetas huecas.

6.2 Parámetros iniciales del ensayo

Este ensayo se realiza para hacer comparación entre el material que se utilizaba anteriormente para los ensayos de alta velocidad y los nuevos materiales que se van a utilizar a partir de ahora, las resinas de poliuretano.

6.2.1 Características de la máquina

La máquina utilizada para el ensayo es una Instron 8516 con una carga máxima de hasta 100KN y un desplazamiento máximo de 150mm. Para realizar la prueba a compresión se acoplan a la máquina unos platos planos para que sirva como asiento para que a las probetas se le aplique una fuerza distribuida en sus bases. Esta máquina además tiene un ajuste por el cual se puede variar la velocidad de desplazamiento de los platos. Para que esté acorde con la norma descrita anteriormente esta velocidad se fija en 1,3 mm/min.



Figura 27: Platos de presión de la máquina de ensayo.

6.2.2 Características de las probetas

La probeta utilizada para el ensayo son cilindros de media pulgada de diámetro (12,7 mm) y una altura de una pulgada (25,4 mm). En la realización del ensayo se tomarán dos tipos de muestras. Las primeras vienen dadas por ser probetas sólidas, el material rellanan todo el volumen de la pieza, y están compuestas de los tipos de resina que se quiere ensayar. El motivo de la realización del ensayo a este tipo de pieza sirve para saber de primera mano la especificaciones mecánicas de los materiales que se van a utilizar en el ensayo de alta velocidad a partir de ahora. El otro tipo de probetas son huecas, tienen vacíos en su interior. Éstas se ensayarán para realizar una comparación entre las piezas utilizadas para el ensayo de alta velocidad antes del rotomoldeo y después de tener el rotomoldeo. Por esta razón los dos tipos de probetas a ensayar con estas propiedades están compuestas de PLA y de una de las resinas que se van a utilizar en adelante en el rotomoldeo. Además estas probetas fabricadas utilizando el rotomoldeo, sirven para realizar las primeras piezas de prueba para verificar el buen funcionamiento de la máquina.

Las piezas sólidas son creadas por medio del método de colada, y como se ha comentado antes se utilizaran para comparar las características mecánicas de las

resinas entre sí y también respecto al PLA. La razón de este aspecto se debe a que con las piezas sólidas se obtienen piezas con una variación mínimas entre ellas. Es tal la similitud que tienen, que una vez creadas la diferencia máxima en masa entre dos piezas es de 0,09 gramos, verificando la alta reproducibilidad de este material. No se realizan las pruebas con piezas sólidas de PLA porque al contrario que las resinas, estas piezas sólidas no se pueden crear debido a que la impresora no permite hacer una pieza sólida porque el plástico no llega a solidificarse del todo. Cada capa que se genera derrite la anterior haciendo que fluya por los laterales deformando la pieza.

En el caso del material impreso se crean 7 tipos distintos de probetas. Dos de ellas tendrán un patrón de llenado tipo panal de abeja con un porcentaje de compactación del 20% y 40%. Cuatro de ellas utilizan un patrón rectilíneo de compactación igual al de panal de abeja pero incluyendo también las compactaciones de 10% y 30%. La última probeta se trata de una probeta hueca con una pared compuesta por tres hilos impresos. Para generar estas geometrías se utilizó el programa Slic3r el cual es capaz de hacer dicha configuración de panal de abeja por defecto.

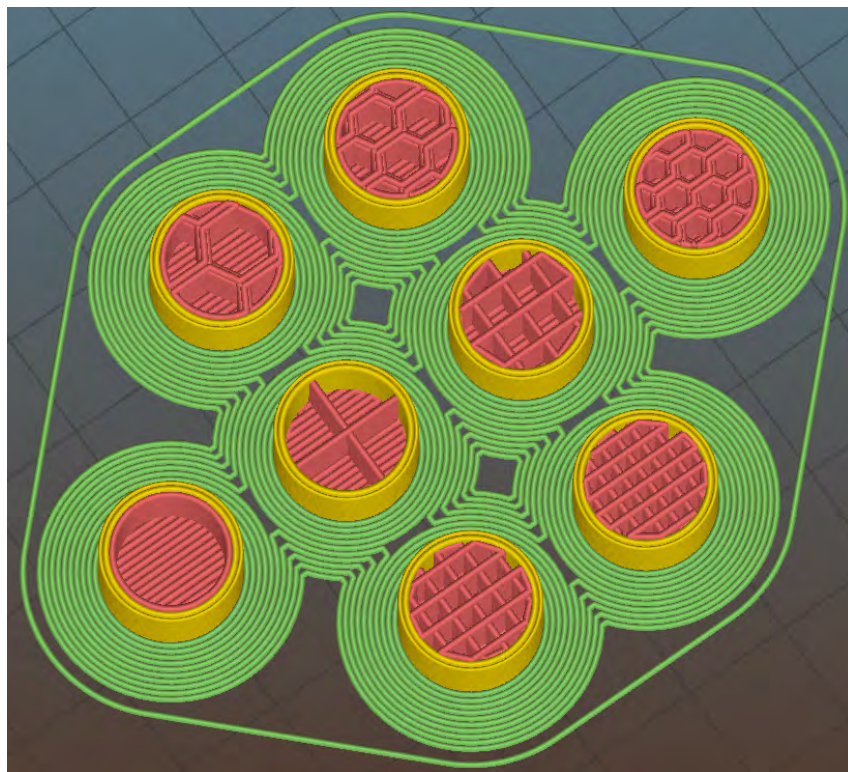


Figura 28: Probetas de ensayo impresas.

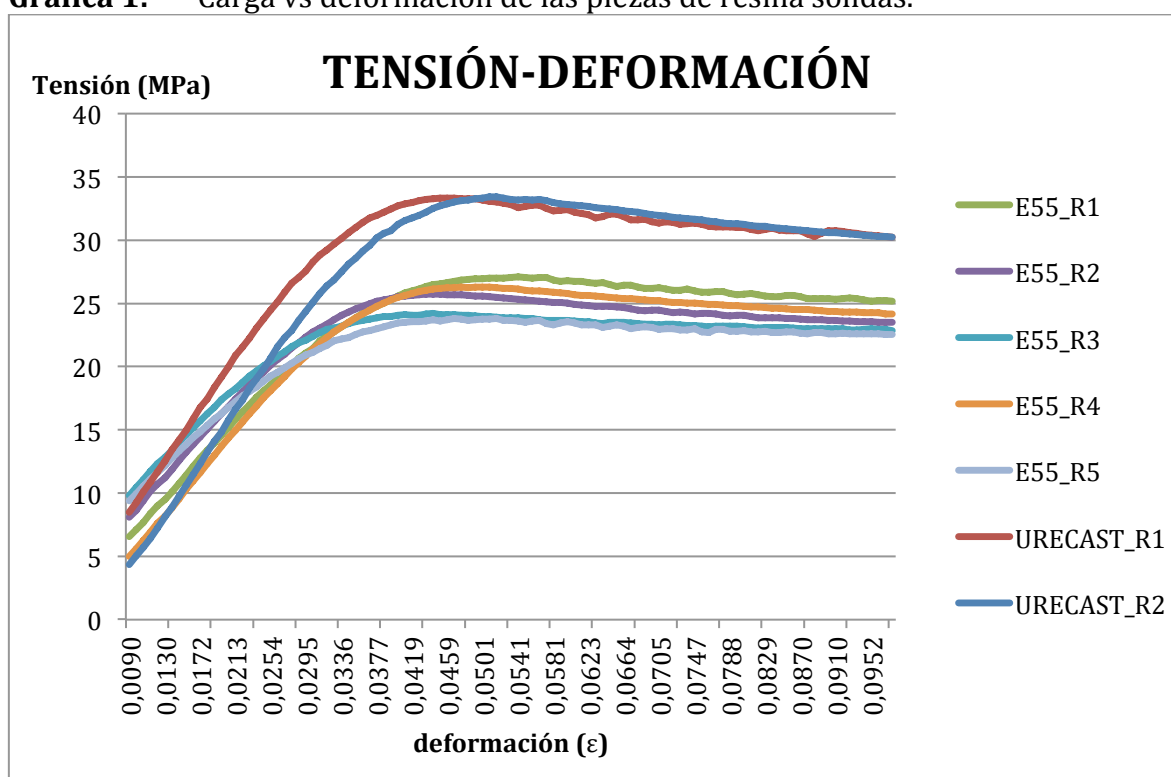
Por otro lado están las probetas hechas por medio del rotomoldeo, las cuales su variación de sección solo se puede hacer por medio del aumento o disminución del espesor de la pared de la pieza. Eso se consigue aportando más o menos material al molde que se utilizará en la máquina. Como por medio de este método no se puede conseguir una precisión tan buena, además de las probetas vacías se hace la prueba a piezas sólidas de los dos tipos de resinas.

6.3 Realización práctica del ensayo

6.3.1 Probetas sólidas de resina E55 y Urecast

Para averiguar de una forma más fiable las características de las resinas que posteriormente se van a utilizar para fabricar las piezas por rotomoldeo, se ensayan las piezas sólidas de resina. Estas piezas son prácticamente iguales en todos los aspectos y como se mostrará a continuación sus características mecánicas apenas se verán diferenciadas entre unas piezas y otras. Esta prueba realizada a las dos resinas sirve para tener una comparación de las propiedades que tienen. Para que se vea mejor como se comportan las resinas se adjunta una gráfica del proceso de carga de todas las probetas rellenas.

Gráfica 1: Carga vs deformación de las piezas de resina sólidas.



Como se puede apreciar la resina Urecast es más resistente que la resina E55. También se ve como no hay apenas variación entre ensayos de un mismo material.

Tabla 2. Propiedades de piezas sólidas de la resina E55.

E55	Nº de probeta	Código de probeta	Peso (gramos)	Carga máxima (KN)	Módulo de Young (MPa)	Resistencia a fluencia (MPa)	Rigidez (KN/mm)
Probetas resina de poliuretano A E55-PR55 rellenas	1	E55_R1	3,67	3,4325	735,17	27,10	28,944
	2	E55_R2	3,62	3,2605	732,95	25,74	28,856
	3	E55_R3	3,69	3,0655	710,66	24,20	27,979
	4	E55_R4	3,71	3,491	749,14	25,92	29,494
	5	E55_R5	3,71	3,017	658,95	23,82	25,943
		Media	3,68	3,2533	717,374	25,35	28,24

Como se puede apreciar como su sección transversal no cambia los datos arrojados por este ensayo apenas cambian teniendo de una forma aproximada las propiedades de la resina.

Los datos mostrados en la gráfica anterior de las probetas de la resina Urecast vienen de la siguiente tabla que como se puede apreciar soportan una carga máxima más alta.

Tabla 3. Propiedades de piezas sólidas de la resina Urecast.

Urecast	Nº de probeta	Código de probeta	Peso (gramos)	Carga máxima (KN)	Módulo de Young (MPa)	Resistencia a fluencia (MPa)	Rigidez (KN/mm)
Probetas resina de poliuretano Urecast Rellenas	1	Urecast_R1	3,74	4,224	843,65	33,34	33,215
	2	Urecast_R2	3,76	4,2375	850,25	33,45	33,474
		Media	3,75	4,23075	846,95	33,40	33,3445

Como pasaba con la resina E55 los datos apenas varían entre una muestra y otra.

6.3.2 Probetas del rotomoldeo

En la realización de los ensayos de las piezas generadas por el rotomoldeo, se realiza una comparación de sus propiedades respecto al peso. Esto permite tener una cierta relación entre los ensayos debido a la dispersión y falta de uniformidad entre muestras. Esta falta de uniformidad se debe a que la pieza ensayada es muy pequeña y la forma por la que se hizo el vertido es poco preciso ya que se hizo por medio de jeringuillas con una graduación en mililitros (con escala cada 0,2 mL). Para generar las probetas del ensayo, las cuales también sirvieron para hacer las pruebas de la máquina, se utilizaron distintas cargas del material. Primero se utilizó una carga de 3 mL de cada componente rebosando el molde generando por tanto una pieza sólida. Las siguientes piezas por tanto se utilizan 2 mL de cada componente. Con esta carga de material, el cual se realiza en un vaso para hacer la

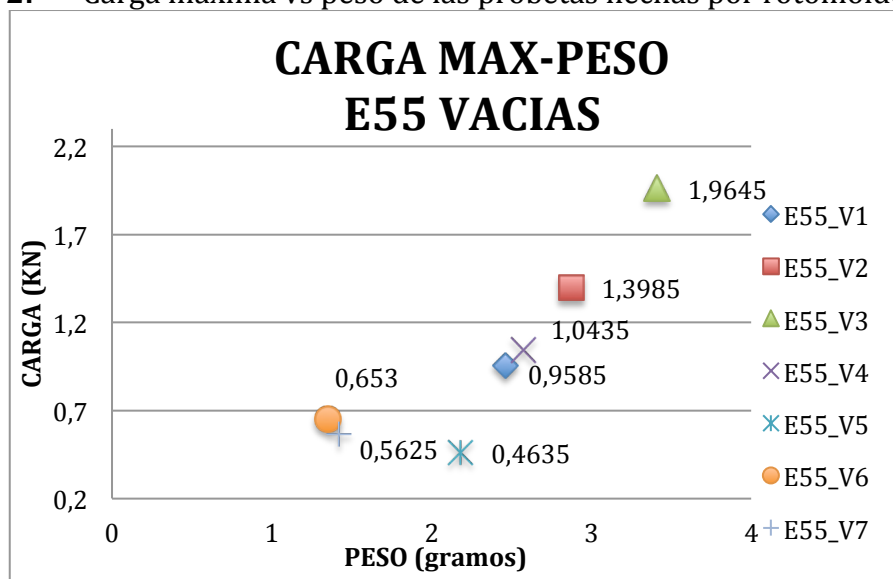
mezcla de los componentes para posteriormente verterlo al molde. Con esto se tiene una masa de probeta comprendida entre los 2,18 gramos y los 3,41 gramos. Como se puede apreciar no se tiene apenas uniformidad en el vertido y por esa razón se opta por incluir la variable de la masa de la probeta. Realizando más pruebas se generan probetas con una menor carga de material, 1 mL por cada componente mezclado en un vaso y otro vertido de 0,5 mL de cada componente vertido en directamente en el molde y mezclado en él. Estas dos probetas tienen una característica que se demostrará más adelante. Aquí se muestra la tabla de los datos obtenidos de las probetas realizadas con la resina E55 por medio del rotomoldeo.

Tabla 4. Datos de las probetas de resina E55 procesadas por rotomoldeo.

	Nº de probeta	Código de probeta	Peso (gramos)	Carga máxima (KN)	Rigidez (KN/mm)
Probetas resina de poliuretano A E55-PR55	1	E55_V1	2,46	0,9585	10,341
	2	E55_V2	2,87	1,3985	16,827
	3	E55_V3	3,41	1,9645	22,814
	4	E55_V4	2,57	1,0435	12,233
	5	E55_V5	2,18	0,4635	7,8984
	6	E55_V6	1,35	0,653	7,6956
	7	E55_V7	1,42	0,5625	6,3611
		Media	2,322857143	1,006285714	12,0243

Como se puede apreciar hay bastante dispersión en los datos, no importa que variable se coja se tienen distintos valores. Esto se debe principalmente a que las piezas son muy distintas unas de otras, solo hay que fijarse en el peso que va desde los 1,35 gramos hasta los 3,41 gramos lo que hace una diferencia entre ellos del 90% respecto a la pieza de menor peso. Para ver la relación que tienen las características de este material se hace una gráfica de la carga máxima que soportan en relación a su peso dando lugar a la siguiente gráfica.

Gráfica 2: Carga máxima vs peso de las probetas hechas por rotomoldeo.



Como muestra la gráfica hay una progresión en las probetas que más pesan mientras que las menos pesadas se alejan de esa linealidad. Esto se debe, como muestra la figura 29, a que la mayor parte del material se queda alojado en las bases en vez de distribuirse de forma uniforme a lo largo de todo el interior de la probeta. Las probetas más ligeras al no tener tanto excedente de material que se quede en las bases se distribuye mejor a lo largo del interior dando lugar a que hay una mayor proporción de material en las paredes laterales que en las probetas más pesadas.

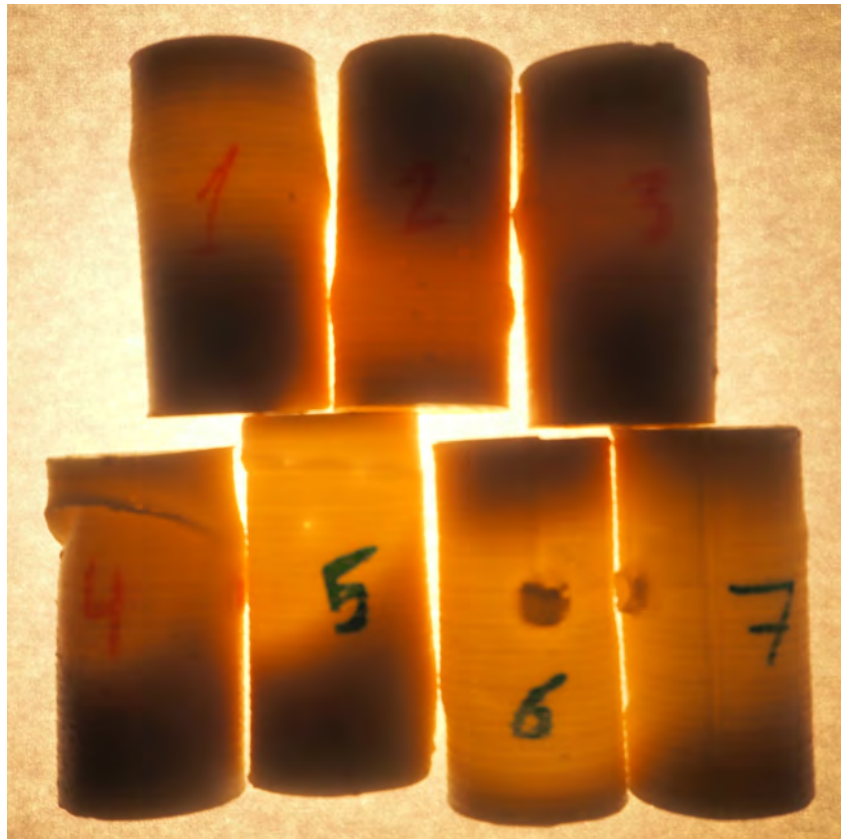


Figura 29: Llenado de las piezas por rotomoldeo.

6.3.3 Probetas impresas

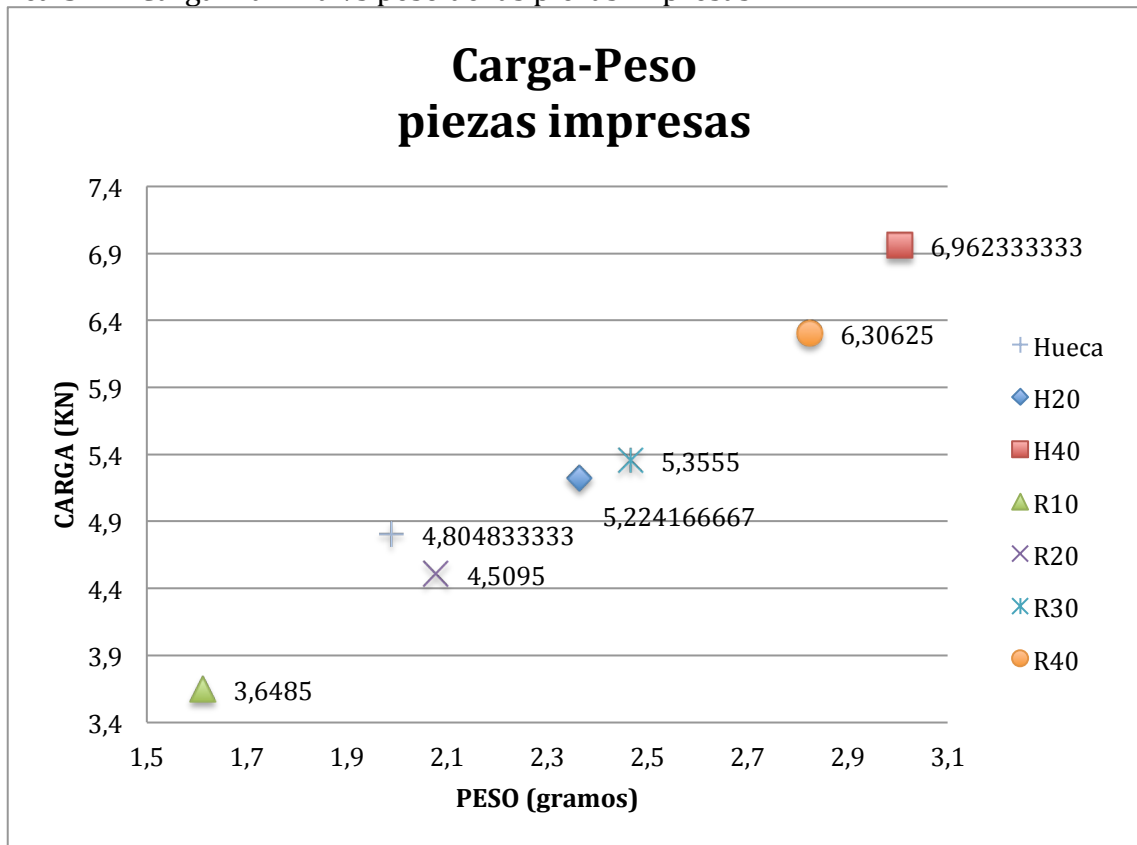
Para tener una analogía con el material utilizado anteriormente se crean las piezas de PLA impresas con características parecidas. Para ello se crean las 7 probetas con las distintas distribuciones interiores. Al igual que con las piezas huecas, para comparar los distintos de relleno, se establece una dependencia de todas las unidades medidas respecto al peso dando lugar a la siguiente tabla. Hay que tener en cuenta que no se han ensayado todas las piezas disponibles, al menos y para tener una dispersión suficiente se han ensayado 3 probetas por cada disposición como mínimo. En estas piezas no se dan datos de sus propiedades mecánicas porque son huecas. Para poder hacer una comparación cuantitativa se realiza un estudio de las rigideces de las distintas probetas.

Tabla 5. Datos de lo ensayos hecho a las probetas impresas.

	Disposición	Nº de probeta	código de probeta	Peso (gramos)	Carga máxima (KN)	Rigidez (KN/mm)	Carga máxima media (KN)	Rigidez media (KN/mm)	Peso medio
Piezas impresas	Probeta hueca	1		2,04			4,8048	41,6583	1,988
		2		2,03					
		3	H10A	1,94	4,6585	25,943			
		4	H10B	2	5,0015	50,316			
		5	H10C	1,93	4,7545	48,716			
	honeycomb 20%	1		2,44			5,2241	52,8413	2,364
		2		2,34					
		3	H20A	2,35	5,2815	51,557			
		4	H20B	2,36	5,133	52,933			
		5	H20C	2,33	5,258	54,034			
	honeycomb 40%	1		3,07			6,9623	65,123	3,004
		2		3,01					
		3	H40A	2,99	7,558	70,467			
		4	H40B	2,97	6,6565	62,815			
		5	H40C	2,98	6,6725	62,088			
	Rectilinear 10%	1		1,65			3,6485	38,653	1,612
		2		1,58					
		3	R10A	1,6	3,571	37,901			
		4	R10B	1,58	3,615	38,122			
		5	R10C	1,65	3,7595	39,936			
	Rectilinear 20%	1		2,06			4,5095	47,0223	2,0775
		2	R20A	2,05	4,392	45,172			
		3	R20B	2,11	4,557	48,796			
		4	R20C	2,09	4,5795	47,099			
		5	R20D						
	Rectilinear 30%	1		2,53			5,3555	53,2343	2,466
		2		2,43					
		3	R30A	2,43	5,3155	54,678			
		4	R30B	2,46	5,3235	51,151			
		5	R30C	2,48	5,4275	53,874			
	Rectilinear 40%	1		2,9			6,3062	62,0077	2,824
		2	R40A	2,81	6,3505	61,828			
		3	R40B	2,8	6,2075	60,906			
		4	R40C	2,81	6,2305	63,347			
		5	R40D	2,8	6,4365	61,95			

Como se puede apreciar a simple vista de los datos obtenidos de las piezas de PLA es que este material es mucho más resistente que la resina de poliuretano. La carga máxima de la disposición más ligera llega hasta una carga máxima de 3,5 KN con un peso de 1,6 gramos. Como el proceso de construcción de estas piezas es automático (por medio de la impresora 3D), las piezas tienen unas propiedades muy parecidas unas a otras y eso se puede apreciar bien en la siguiente gráfica.

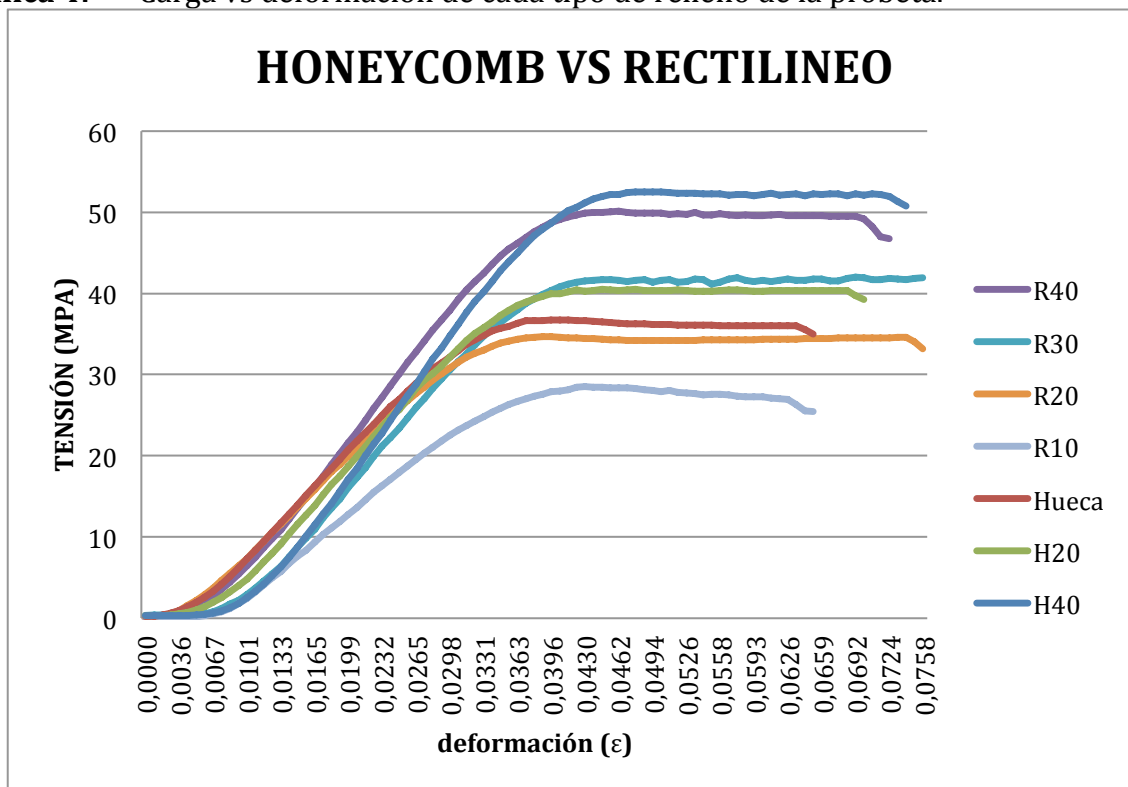
Gráfica 3: Carga máxima vs peso de las piezas impresas.



Al contrario de lo que ocurriría con las piezas creadas por el rotomoldeo, estas siguen una linealidad. Esto demuestra que lo que importa en estas piezas es el área de la sección de la probeta más que la distribución que tenga. Por esta razón la hueca, aunque se crea que tiene menos área que la R10, en verdad tiene más área y el peso lo corrobora. Lo que ocurre es que en vez de tener una pared formada por 2 pasadas de la impresora, haciendo que se deposite más material, tiene 3, haciendo que toda la sección se concentre en su parte exterior teniendo así un mayor grosor de pared.

En la siguiente grafica se puede ver también claramente el comportamiento de las distintas disposiciones a lo largo de toda la prueba que se han hecho a las distintas probetas.

Gráfica 4: Carga vs deformación de cada tipo de relleno de la probeta.



A pesar de las diferencias que hay entre las probetas, las muestras tienen una cierta similitud entre ellas.

Estos datos, para el departamento de estructuras y medios continuos es de especial relevancia ya que estos datos se pueden extrapolar a los modelos numéricos generados por ordenador debido a que en el estudio de las estructuras tipo sándwich se utilizan estas disposiciones de relleno. Esto ayuda a tener una correlación de la resistencia del elemento según la compactación del relleno utilizado. Si por ejemplo se quiere estudiar una estructura de placas con estructura interior honeycomb, que es la más utilizada en este tipo de estructuras por su gran resistencia y poco peso, y se realiza con PLA en vez modelar toda la estructura honeycomb, lo que supondría una mayor potencia de cálculo al añadir más elementos al tener que fraccionar cada elemento por elementos finitos, se utilizan los datos del ensayo para caracterizar toda la estructura honeycomb de PLA.

6.3.4 Otras características del ensayo

Cuando se realizaron los ensayos se apreció que algunas probetas cuando llegaban a su carga máxima se mantenía el valor de la carga hasta formar un disco plano, aunque por medidas de seguridad no se llegó a dicho punto. Este es el motivo por el que en ningún momento se hace referencia a la resistencia a compresión del material ya que carece de ella. Otro aspecto a remarcar es el comportamiento de las piezas huecas (las producidas por rotomoldeo). Estas piezas una vez alcanzado su punto de carga máxima, en vez de mantenerse la carga, disminuye

paulatinamente. Esto se debe, tal y como muestra la siguiente figura, a que el material pandea porque las paredes se deforman hacia dentro. Este pandeo se debe a la relación que hay entre el espesor de la pared de la probeta y la longitud que abarca dicho espesor. Es por ello que este efecto no se nota en las probetas vacías de mayor peso. En la imagen posterior se ve claramente el pandeo en todas las piezas menos en la 2 que es una de las piezas de mayor peso.

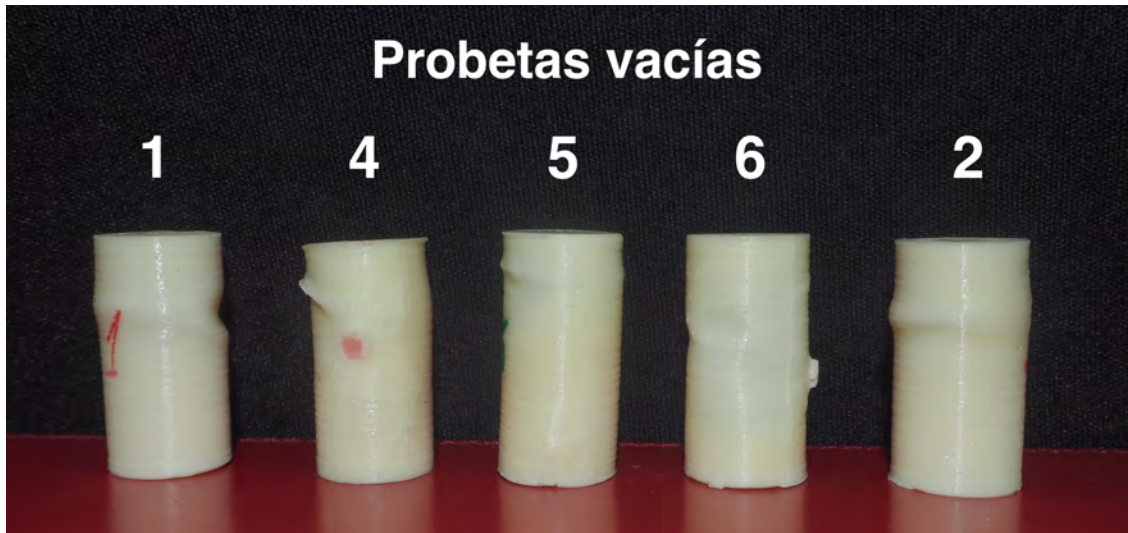


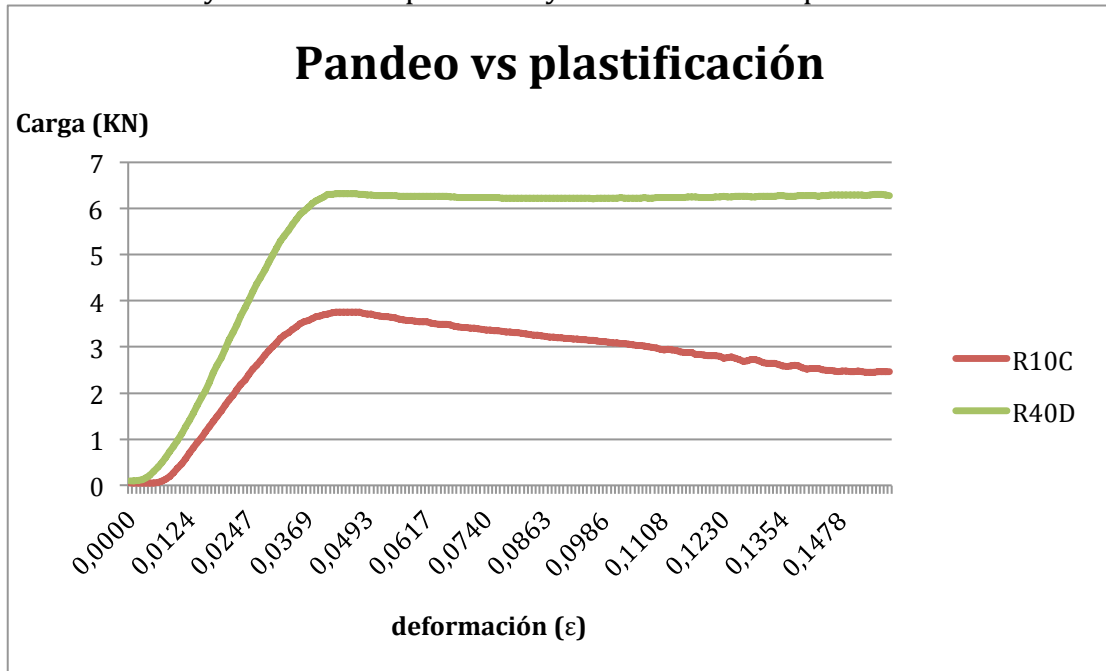
Figura 30: Efecto de pandeo en las piezas vacías comparando con la vacía de mayor peso.

Se ha observado en un elemento aislado de las piezas impresas, específicamente en la R10A, que también se ha producido este efecto de pandeo. Sin embargo no ha habido consecuencias sobre el ensayo ya que los valores que se han tenido en cuenta han sido los de la carga máxima soportada sobre el mismo. El resto de las piezas se han comportado de una forma parecida entre sí, al cargarse han ido ensanchándose transversalmente pero sin llegar a haber rotura del material. En la siguiente imagen se muestra claramente el efecto de pandeo en la pieza en cuestión.



Figura 31: De izquierda a derecha 1) la pieza pandeada, 2) una pieza no ensayada y 3) una con comportamiento normal.

Gráfica 5: Ensayo de muestra pandeada y muestra con comportamiento normal.



(las piezas elegidas son las de la imagen anterior)

6.4 Conclusiones del ensayo

El ensayo ha revelado algunas de las características de estos materiales que se desconocían en un principio. El cual se basa en que la carga máxima se mantiene a lo largo de la deformación plástica. En un plástico rígido, durante la plastificación la carga aumenta ligeramente hasta que se produce la rotura del material. En los plásticos utilizados si no se genera el efecto de pandeo se mantiene la carga durante la parte de deformación plástica, hasta que se transforma en un disco plano. Para corroborar lo dicho aquí están las imágenes de unas muestras de lo dicho anteriormente junto con sus gráficas completas de su comportamiento en el ensayo.

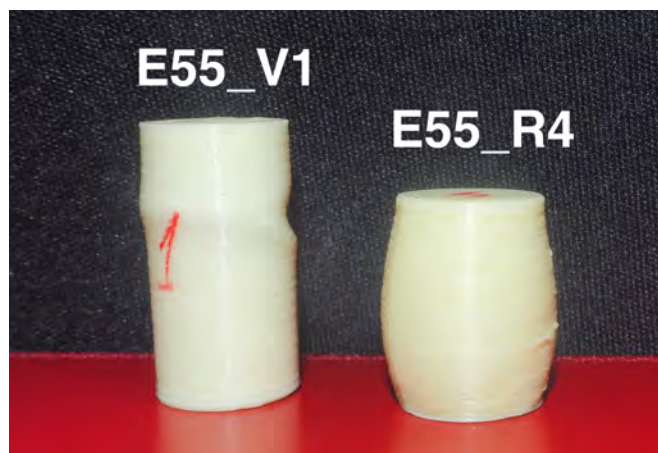
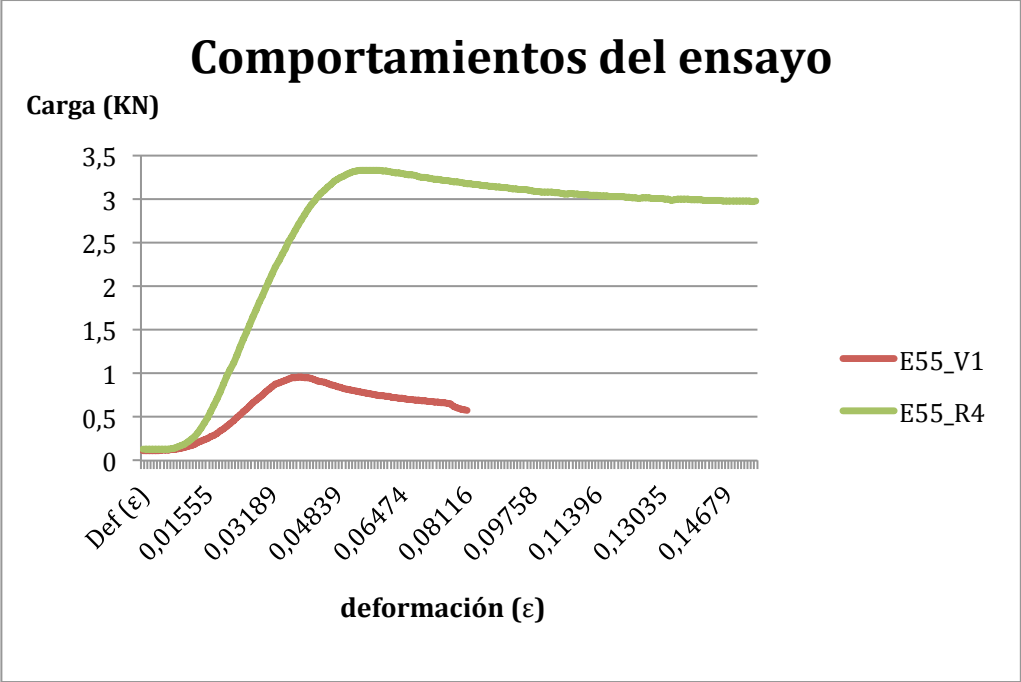


Figura 32: Los distintos comportamientos de los materiales en el ensayo.

Gráfica 6: Comportamiento de las probetas de la imagen.



7. PRESUPUESTO

El presupuesto de la máquina es el que se relata a continuación. Hay que tener en cuenta que algunos precios como el de las tuercas y los tornillos se cuenta su parte proporcional debido a que las piezas restantes pueden ser utilizadas para otros usos. Sin embargo las piezas que sobren y sean más específicas como es el caso de los ejes y los perfiles Nikai, se cuenta el precio por el lote adquirido sin importar la cantidad que haya sobrado. Otro aspecto a tener en cuenta en los precios aquí mostrados, son las posibles rebajas por adquisición de un número determinado de unidades, como ha pasado en el caso de las escuadras y los rodamientos.

Gracias a los medios de los que dispone el departamento de estructuras y medios continuos se ha podido contar con una nave donde se ha cortado y perforado los perfiles. A su vez también se tiene acceso a una impresora 3D, donde se han hecho algunas de las piezas como pueden ser las placas. Para calcular el coste de estos elementos, se realiza según la cantidad de plástico utilizado y su precio total será el peso de las placas por el precio por kilogramo promedio del plástico utilizado, que en este caso es PLA. A modo comparativo se incluye el precio de lo que hubiese costado estas mismas placas si se hubiesen encargado a una empresa externa algo que se barajó en un principio en el proyecto. Estas piezas serían unas placas de acero de 1,5 mm de espesor procesadas por la empresa Lasertek y con una geometría más simple que con la impresora 3D.

Tabla 6. Presupuesto de la máquina construida.

PRESUPUESTO			
Artículo	Lote	unidades	Coste total
Perfiles Nikai	Barras de 3 metros	x1	25,56 €
Ejes	Barras de 400 mm	x2	24,32 €
Escuadras	Kit de escuadra, dos tornillos y encajes	x14	58,10 €
Rodamientos	Unitario	x6	18,30 €
Engranajes de ingletes	Unitario	x2	25,12 €
Piezas impresas	Coste total	x1	1,85 €
Poleas	Unitario de 18 dientes	x1	8,95 €
	impresa de 36 dientes	x1	0,19470 €
Correa	Unitario	x1	3,63 €
Tornillos M3	Bolsa de 30	x18	1,20 €
Tuercas	Bolsa de 80 unidades	x18	0,50 €
Tornillos Prisioneros	Bolsa de 5 unidades	x13	4,65 €
Total			172,37 €

Las placas, que en principio iban a ser procesadas por Lasertek, tenían un coste de 81€ siendo éste el coste de las piezas de la primera evolución ya explicadas en el apartado de la elección del diseño. Estas piezas eran lo más simples posibles para que se pudiesen procesar por dicha empresa. Como se puede apreciar la diferencia de precio es algo a tener en cuenta ya que la diferencia es de 79,15€, además con las piezas impresas se pueden hacer diseños más complejos. Al coste por material de las piezas impresas también se le ha añadido el coste de la electricidad que ha requerido la máquina para realizar las piezas. Este coste aunque fuese pequeño en comparación con el del material hay que tenerlo en cuenta para que los cálculos del coste de la máquina sean lo más fiable posibles.

Como se puede apreciar no se incluye el precio ni del molde de silicona ni de las piezas creadas para hacer las probetas. Esto se debe a que este coste se engloba dentro de los costes de operación y no en los costes de la máquina. Otro aspecto a tener en cuenta es que no se ha incluido el coste del tiempo que ha hecho falta para el desarrollo, montaje y fabricación de la máquina.

Resumiendo los costes anteriormente mostrados, se puede concluir que gracias a la inclusión de las piezas hechas por impresión 3D se reduce de forma considerable el precio total de la máquina, debido a que sino las placas de acero supondrían el mayor desembolso de la máquina.

7.1 Presupuesto alternativo

Al igual que con las placas de acero también se barajó otro diseño válido. Por esta razón se ha realizado un presupuesto alternativo con las piezas con las que se hubiese realizado la máquina si hubiese tenido más peso el motivo económico antes que el estructural. El diseño en el cual se basa este presupuesto es el presentado anteriormente en el apartado relacionado a la elección del diseño que tenía por nombre "*tercera opción*". Como se basa en los mismos principios que el diseño final (la utilización de perfiles con caras planas) se pueden utilizar muchas de las piezas presentes en el diseño final. Las únicas variaciones que sufre este presupuesto viene dado por la elección de perfiles rectangulares de 30 x 15 mm, los cuales van unidos por escuadras planas que van unidas a los perfiles por medio de dos tornillos como mínimo por cada escuadra.



Figura 33: Escuadras planas.

En la siguiente tabla se adjunta el presupuesto propuesto anteriormente pero variando los elementos que cambian en este segundo modelo. También como prevalece que el valor económico de la máquina sea lo más bajo posible con respecto a la estructural, se han realizado los cálculos haciendo que cada escuadra vaya fijado por tan solo 2 tornillos en vez de los 4 tornillos que podría albergar para aportar a la estructura una mayor de rigidez.

Tabla 7. Presupuesto del diseño alternativo.

Presupuesto Alternativo			
Artículo	Lote	unidades	Coste total
Perfiles	Por metros	x3	10,35 €
Ejes	Barras de 400 mm	x2	24,32 €
Escuadras planas 90°	Escuadra con tornillos en paralelo (lote unitario)	x20	6 €
	Escuadra con tornillos en perpendicular (lote unitario)	x8	2,00 €
Rodamientos	Unitario	x6	18,30 €
Engranajes de ingletes	Unitario	x2	25,12 €
Piezas impresas	Coste total	x1	1,85 €
Poleas	Unitario de 18 dientes	x1	8,95 €
	Impresa de 36 dientes	x1	0,1947 €
Correa	Unitario	x1	3,63 €
Tornillos M3	Bolsa de 30	x74	5,00 €
Tuercas	Bolsa de 80 unidades	x74	2,04 €
Tornillos Prisioneros	Bolsa de 5 unidades	X13	4,65 €
Total			112,40 €

Como se puede apreciar la diferencia de precio entre los dos montajes es claramente significativa, específicamente 59,97€, pero al no ser el único factor a tener en cuenta en el montaje definitivo, la máquina se realizó por medio de los

perfiles Nikai, siendo sus encajes para mantenerlo firme la mayor carga sobre el presupuesto final.

Las características más significativas que cambiarían de un modelo a otro son como unir los marcos entre sí. En la siguiente foto se muestran los dos tipos de fijaciones.

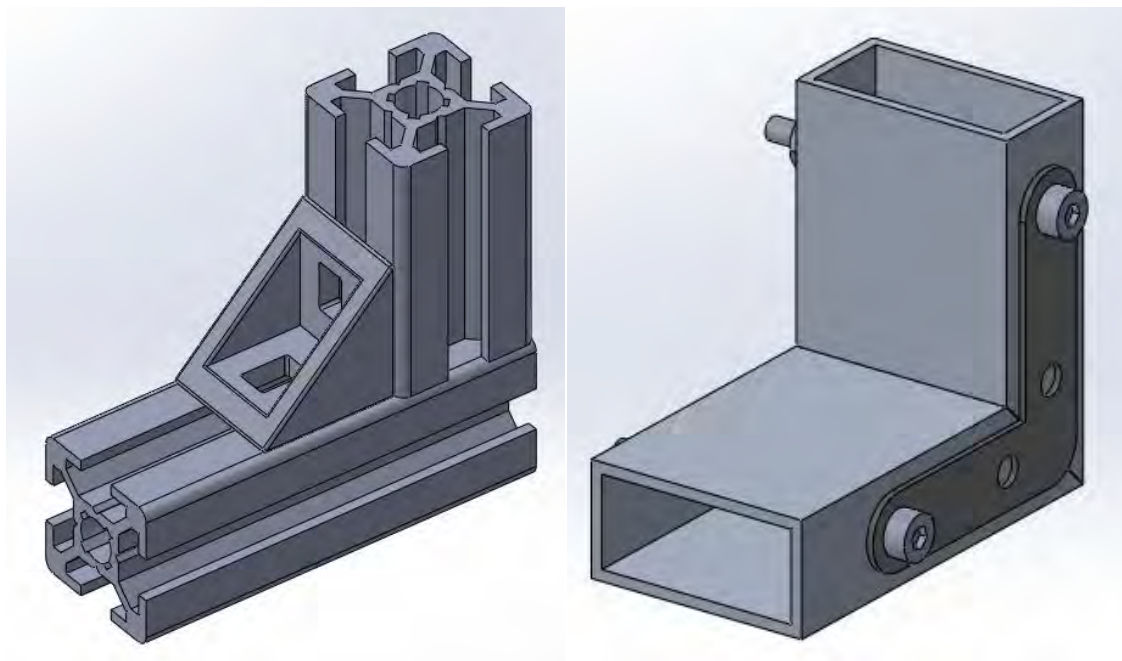


Figura 34: Fijaciones de los perfiles.

8. CONCLUSIONES

En este proyecto se ha conseguido hacer una máquina de rotomoldeo totalmente a medida y de bajo coste, pero a su vez utilizando unos materiales que si las condiciones de las piezas fuesen distintas harían que el diseño siguiese siendo válido aunque con una distinta escala. Esto se debe a la utilización de los perfiles nikai que representan el pilar central del soporte del resto de piezas de la máquina. Esto es debido a sus múltiples utilidades dentro del ámbito industrial gracias a que es un buen elemento de soporte estructural.

También aunque el rotomoldeo sea un método que tiene una capacidad de producción relativamente baja, en este proceso de rotomoldeo se puede aumentar la producción incluyendo más moldes. Esto se debe a que mientras las piezas ya pasadas por el rotomoldeo se endurecen se puede ir haciendo otra pieza, por lo que se podría incrementar al doble la producción normal. Si se quiere incrementar aún más esa producción, se podría adoptar la opción de tener más de una máquina, que gracias a su tamaño compacto, en un espacio reducido se podrían colocar varias máquinas.

La máquina ha sido diseñada de modo que ninguna operación requiera de utillaje especial y las placas, a pesar de utilizar una tecnología relativamente novedosa, no son difíciles de conseguir gracias al auge de las impresoras 3D tanto en el ámbito industrial como en el doméstico. Las piezas 3D debido a las distintas tolerancias que tienen las impresoras hay que ajustar las medidas para que encajen las piezas sin holguras.

La manera de caracterizar las piezas ensayadas se han hecho de la forma más simple posible pero no por ello no es válida. A las piezas impresas se podrían haber hecho un estudio más exhaustivo haciendo un estudio tensional de las fuerzas por cada parte de la pieza.

Para trabajos futuros sobre la máquina de rotomoldeo queda pendiente la inclusión de un motor eléctrico capaz de controlar de una manera uniforme la velocidad de giro, además esto generaría un mejor acabado de las piezas. Otra mejora futura es el hacer un enganche polivalente para agarrar de la mejor forma posible los distintos moldes a los marcos. Éste debe de ser válido para toda la variedad de piezas que se requieran hacer con la máquina en un futuro.

9. BIBLIOGRAFIA ASOCIADA AL PROYECTO

Estado del arte

Contenido obtenido de los sitio web:

Textos científicos. Moldeado, inyección, extrusión. Disponible en:
<http://www.textoscientificos.com/polimeros/moldeado>

Tecnología de Plásticos. Rotomoldeo II. Disponible en:
<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2011/12/rotomoldeo-ii.html>

Elección del diseño

SOLIDWORKS® 3D CAD. Versión 2014.

Propiedades del material a procesar

ASTM International. *Standard test method for compressive properties of rigid plastics*. Designation: D695 – 02a.

Presupuesto

Artículos de la máquina.

Tienda Rs components. Disponible en: <http://es.rs-online.com/web/>

Artículos del presupuesto alternativo.

Tienda Alcaglas. Disponible en:
<http://www.alcaglas.com/producto.php?codigo=tubo-cuadrado-aluminioal1506&foto=3>

Tienda Leroy Merlin. Disponible en: <http://www.leroymerlin.es>

Propiedades de las resinas

Resina de poliuretano E55 con ficha técnica y características de los monómeros. Tienda Feroa. Disponible en:
<http://www.feroca.com/es/resinas-poliuretano/67-feropur-pr55-e55-resina-poliuretano-rigida.html>

ANEXO

10.RECOMENDACIONES

Tras la fabricación de la máquina y probarla se aconseja tener en cuenta las siguientes recomendaciones si se quieren hacer de una manera óptima las piezas en la máquina de rotomoldeo:

- Antes de realizar cualquier acción con la máquina asegúrense de que la máquina se halle sujeta a algo firme por parte de sus patas. Esto ayudará a que la máquina gire con más facilidad además de hacer que la máquina no se traslade de su posición.
- Antes de manipular los monómeros del bicomponente leer detenidamente las instrucciones de seguridad de uso que provee el fabricante sobre estos materiales ya que pueden provocar lesiones físicas si no se tienen las consideraciones pertinentes.
- Al verter la resina de poliuretano en el molde, para tener un mejor resultado en la pieza final, el material se tiene que distribuir uniformemente por las paredes del molde. Para ello cuando se empiece a dar vueltas al molde, la resina debe ser lo más líquida posible de ese modo el plástico se quedará alrededor del molde eficientemente. Si cuando se empieza a girar la máquina y el poliuretano no fluye bien la pieza podría quedarse incompleta.
- Al igual que la recomendación anterior, para sacar la pieza del molde hay que estar seguro que la pieza ha endurecido por completo. Si no ha endurecido y se saca puede salir deformada y por tanto desechada. El molde se puede sacar de la máquina de rotomoldeo cuando se está seguro que el plástico no fluye pero del molde no se puede sacar hasta que no está dura.
- Antes de dar alguna vuelta a la máquina hay cerciorarse de que no hay ningún elemento en la trayectoria de ningún elemento de la máquina. Si lo hubiese no se debería mover la máquina hasta que se aparten las cosas, en caso contrario podría provocar la rotura de la máquina o lesiones físicas.
- Para evitar discontinuidades en el material, hay que asegurarse que se echa suficiente material como para poder rellenar todas las paredes del molde, en caso contrario la pieza tendrá agujeros y por tanto la pieza no será válida y deberá ser desechada.

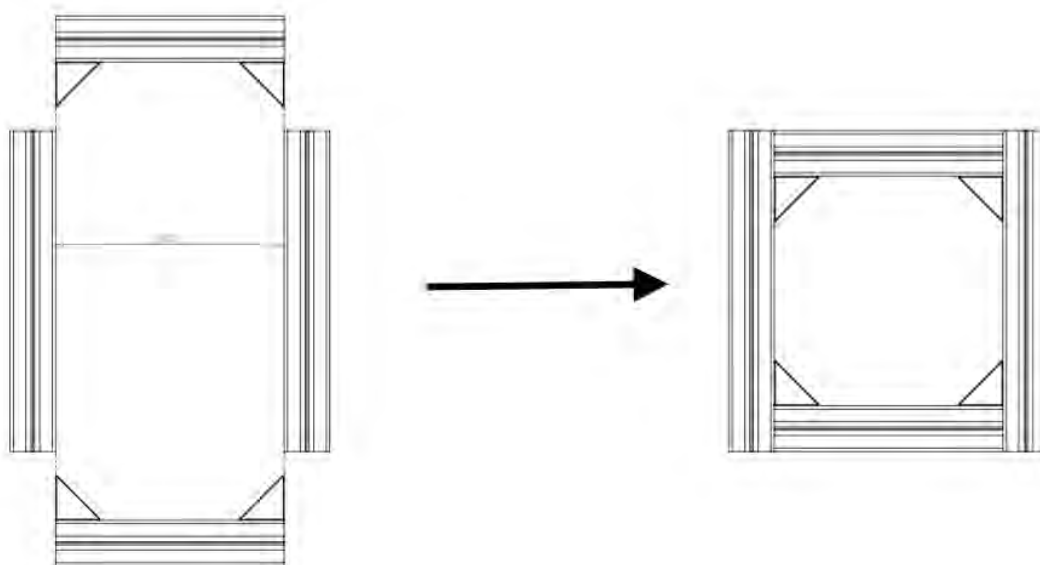
11. INTRUCIONES DE MONTAJE

Esta es una recomendación de cómo realizar el montaje de la máquina de una forma correcta de modo que todo encaje acorde a como se ha diseñado la máquina. Aunque haya muchas formas de montarla, aquí se indica la forma en la que se procede en el proyecto. Por esta razón se recomienda que se sigan estas instrucciones para el buen funcionamiento de la máquina.

Pasos a seguir

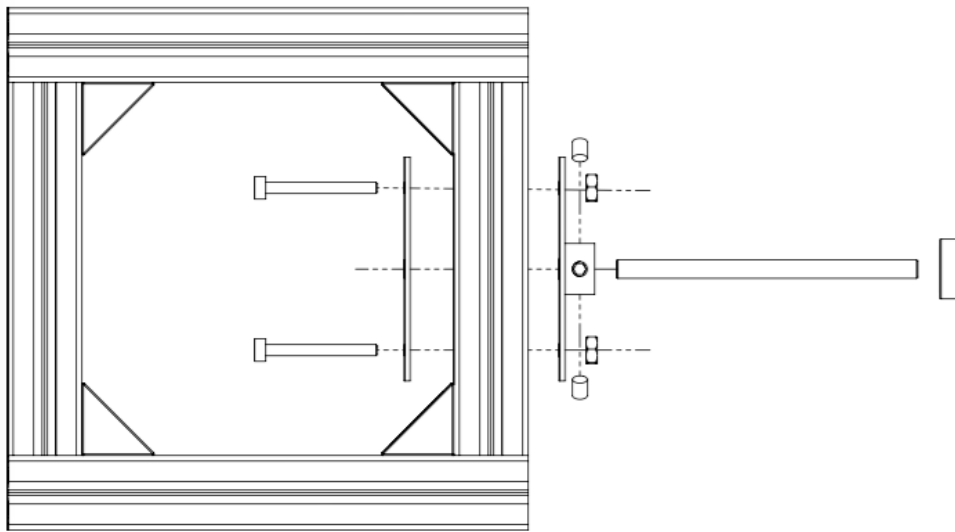
Paso 1:

Se realiza el montaje completo del marco interior de modo que se colocan los perfiles de longitud 140 mm a una distancia entre ellos de 100 mm donde irán colocados los perfiles de 100 mm de longitud a los que previamente se han fijado las escuadras. Una vez puesto los perfiles de 100 mm en su sitio, se fijan las escuadras a los perfiles de 140 mm quedando el marco rígido.



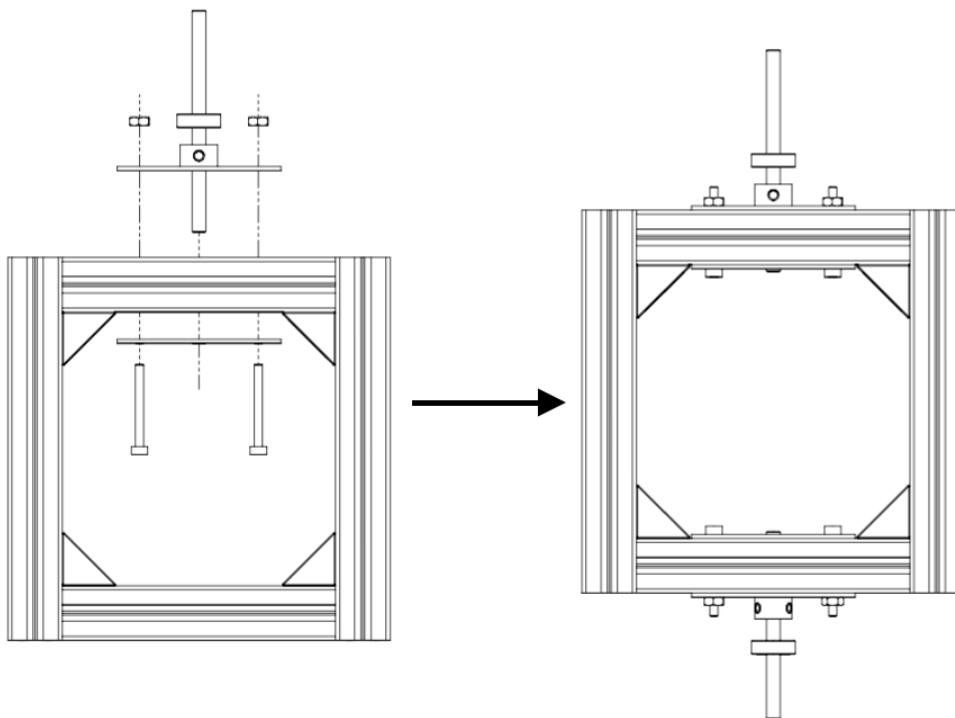
Paso 2:

Para los ejes que salen del marco interior se colocan primero los rodamientos en su posición final, la cual será sobre las placas situadas en el marco exterior. Lo mismo pasa con la placa 5 mm modificada que se fijan atornillando los 3 tornillos prisioneros.



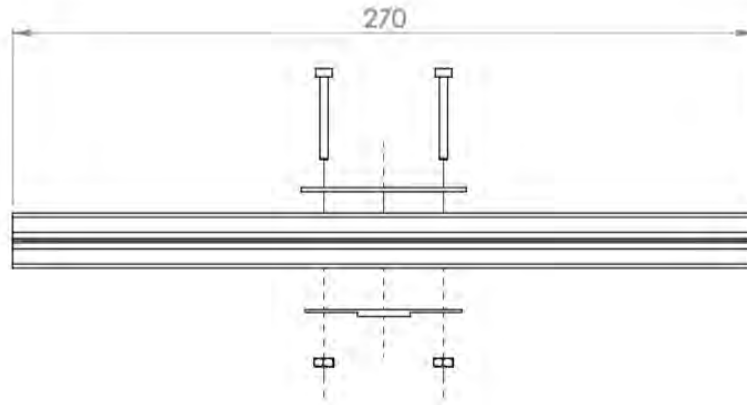
Paso 3:

Una vez hecho esto se colocan las placas que se alojan por la parte externa del marco interior y se hacen pasar los ejes por los agujeros practicados en el perfil hasta el final donde se pone la placa denominada como placa 5 mm. Para mantener las placas fijas se atornillan entre sí al perfil.



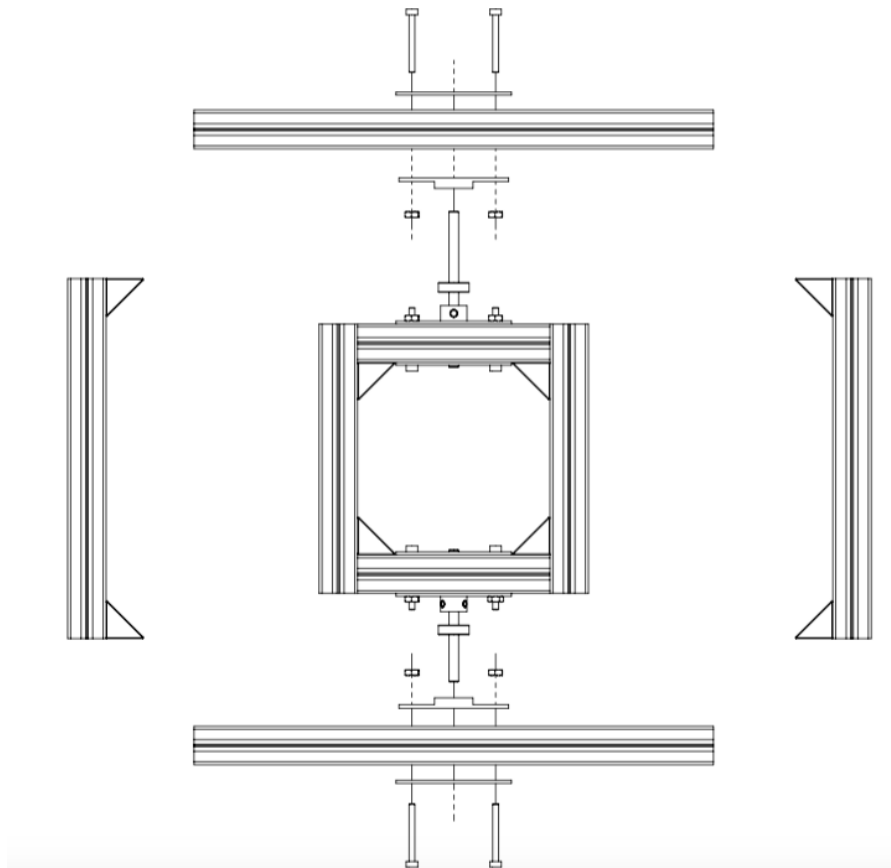
Paso 4:

Teniendo montado el marco interior se empieza el montaje del marco exterior fijando las placas correspondientes a los perfiles 270 mm donde se alojarán los ejes provenientes del marco interior.



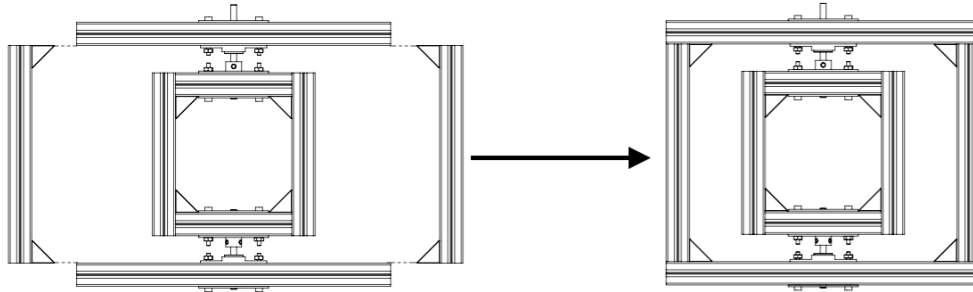
Paso 5:

Se colocan los perfiles de 270 mm haciéndolos pasar por los ejes antes citados hasta su posición final definida por los rodamientos antes colocados.



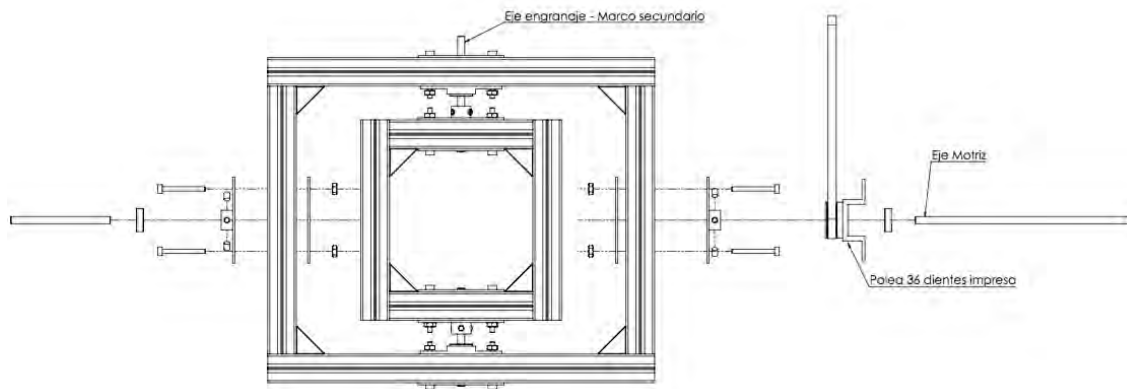
Paso 6:

Se coloca lo que resta del marco exterior por el mismo procedimiento que en el marco interior (Paso 1). Se fijan primero las escuadras a los perfiles de 187 mm, se hacen deslizar hasta su posición final y se fija al perfil perpendicular, el perfil de 230 mm, quedando así montado el marco interior y el exterior.



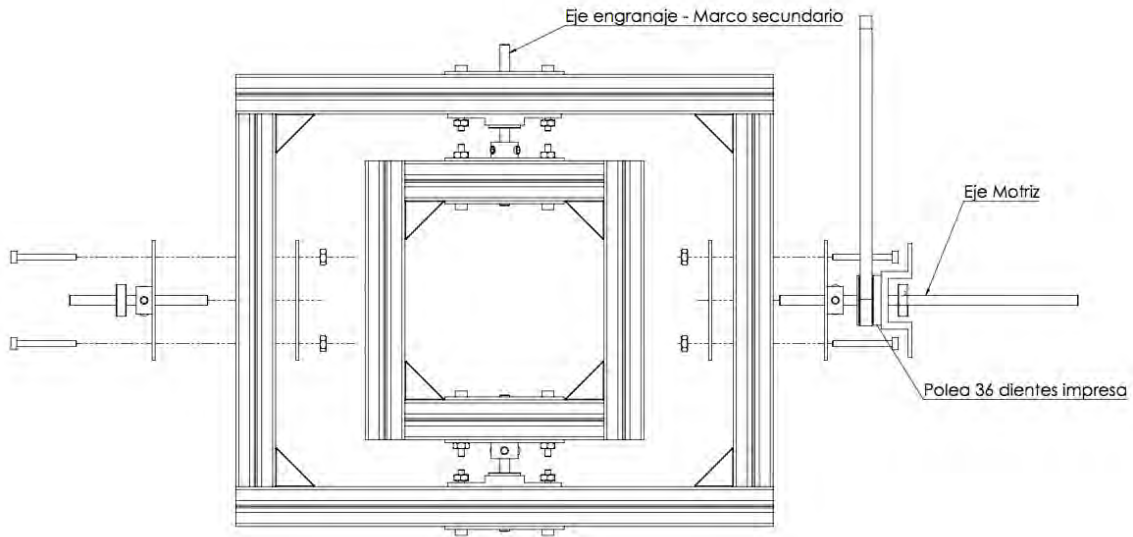
Paso 7:

Los ejes que restan pasan a través del marco exterior y se montan como en el marco interior (Paso 2). Se colocan primero los rodamientos en su posición final, la cual será sobre las placas situadas en el perfil del soporte de la máquina y las placas 5 mm modificadas se fijan por medio de los 3 tornillos prisioneros. Además en el eje que transmite el giro al marco secundario se coloca la polea.



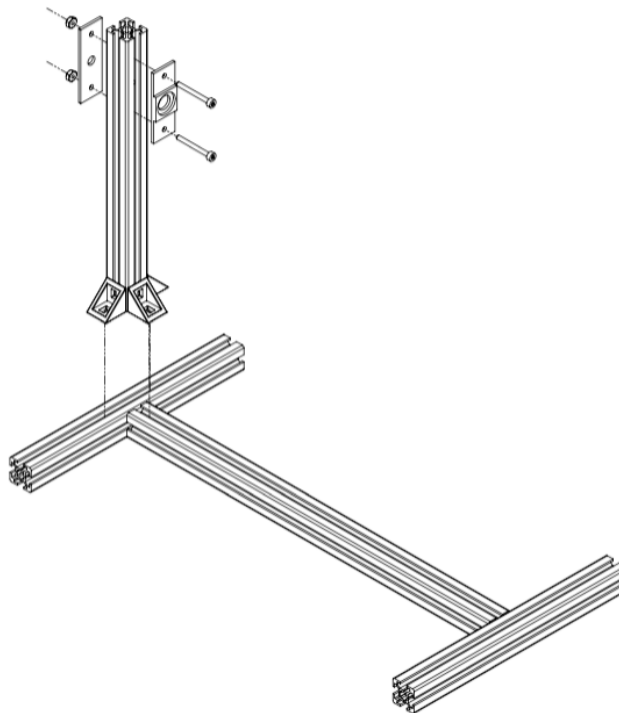
Paso 8:

Al igual que en el Paso 3, se colocan las placas que 5 mm y se fijan al perfil atornillándolas junto con las placas 5 mm modificada que están por el otro lado del perfil.



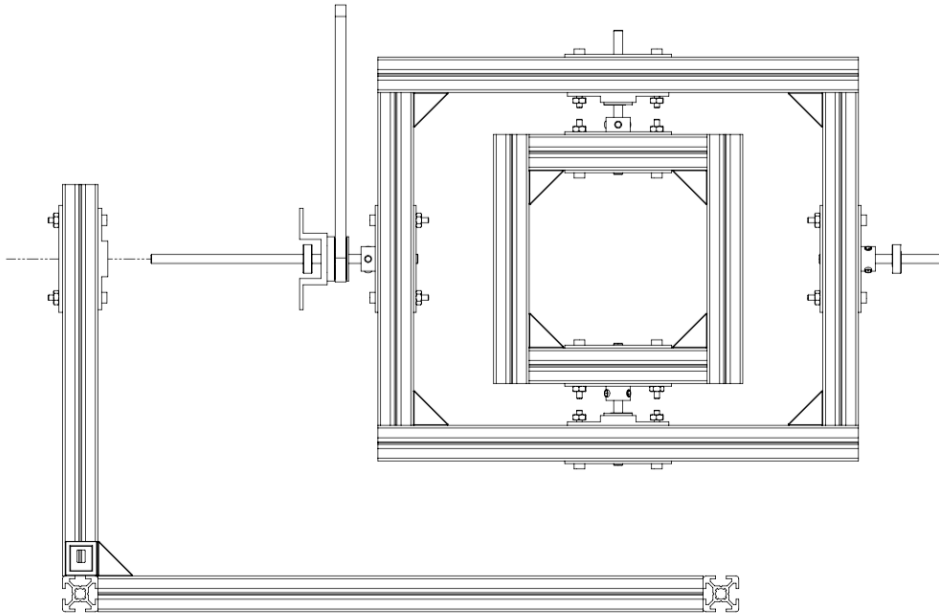
Paso 9:

Se monta la base del soporte junto con uno de los perfiles verticales (perfil de 220 mm) y se atornillan las placas que le corresponde. El perfil que se tiene que colocar tiene que ser el que tenga la "U". Para tener preparado para luego el otro perfil, también se atornillan las placas al otro perfil vertical de 220 mm.



Paso 10:

Se hace pasar el eje motriz (el que tiene la polea) por el agujero practicado al perfil hasta que el rodamiento coincida con su emplazamiento pegado a la placa y se atornilla polea impresa al perfil vertical que se ha puesto en el paso anterior.

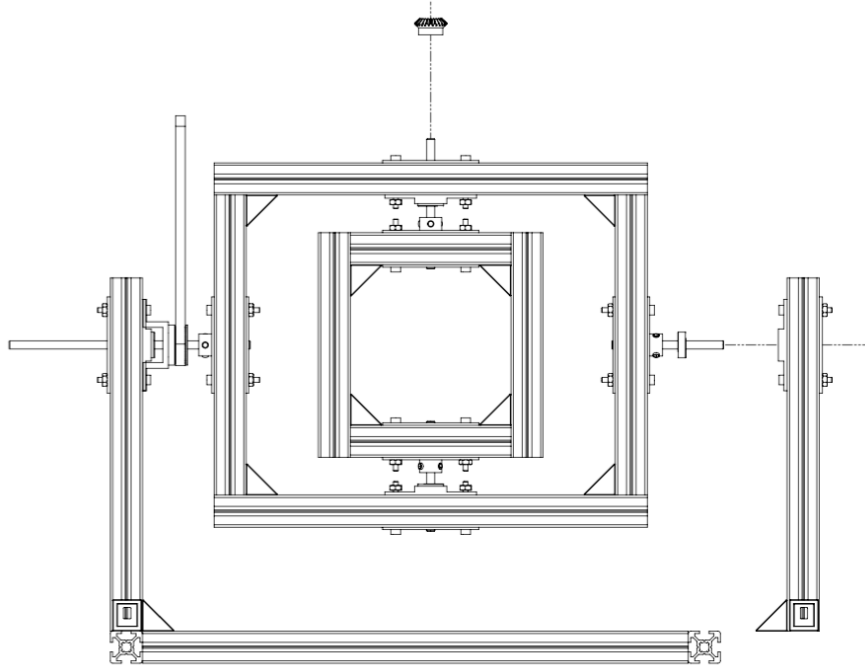


Paso 11:

Para poder soportar los marcos se coloca el perfil vertical que falta pasando el eje por el agujero del perfil hasta su posición y se fija el perfil a la base del soporte.

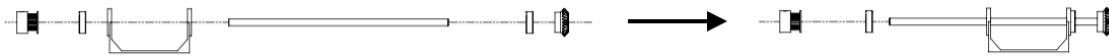
Paso 12:

Se coloca el engranaje que sale del eje del marco secundario.



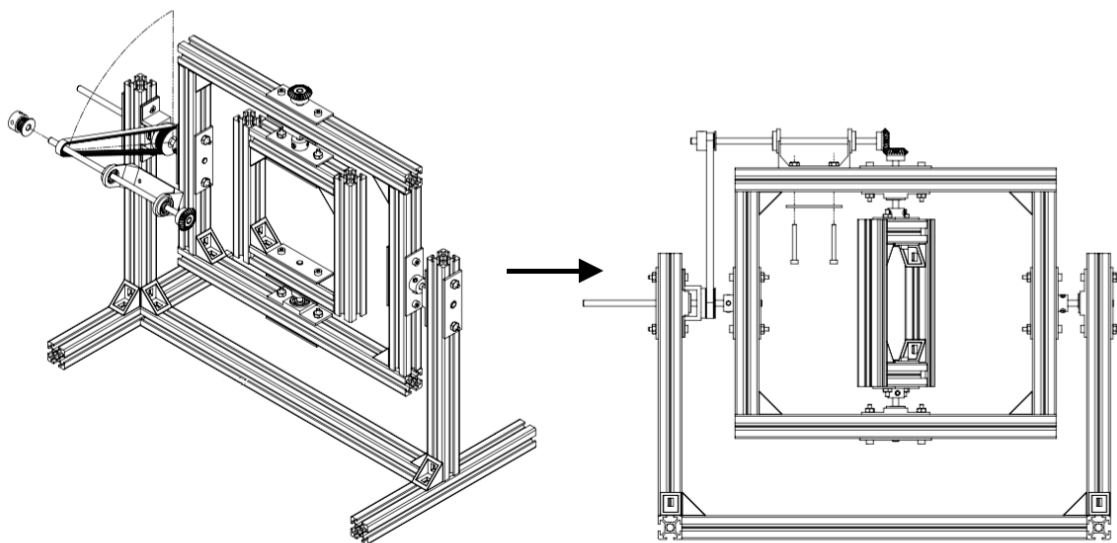
Paso 13:

Se monta uno de los rodamientos en el eje de transmisión y posteriormente la placa que lo sujeta (placa forma de U). Una vez puesta la placa se pone el otro rodamiento que hace que la placa no se mueva de su sitio y se aprovecha para poner el engranaje.

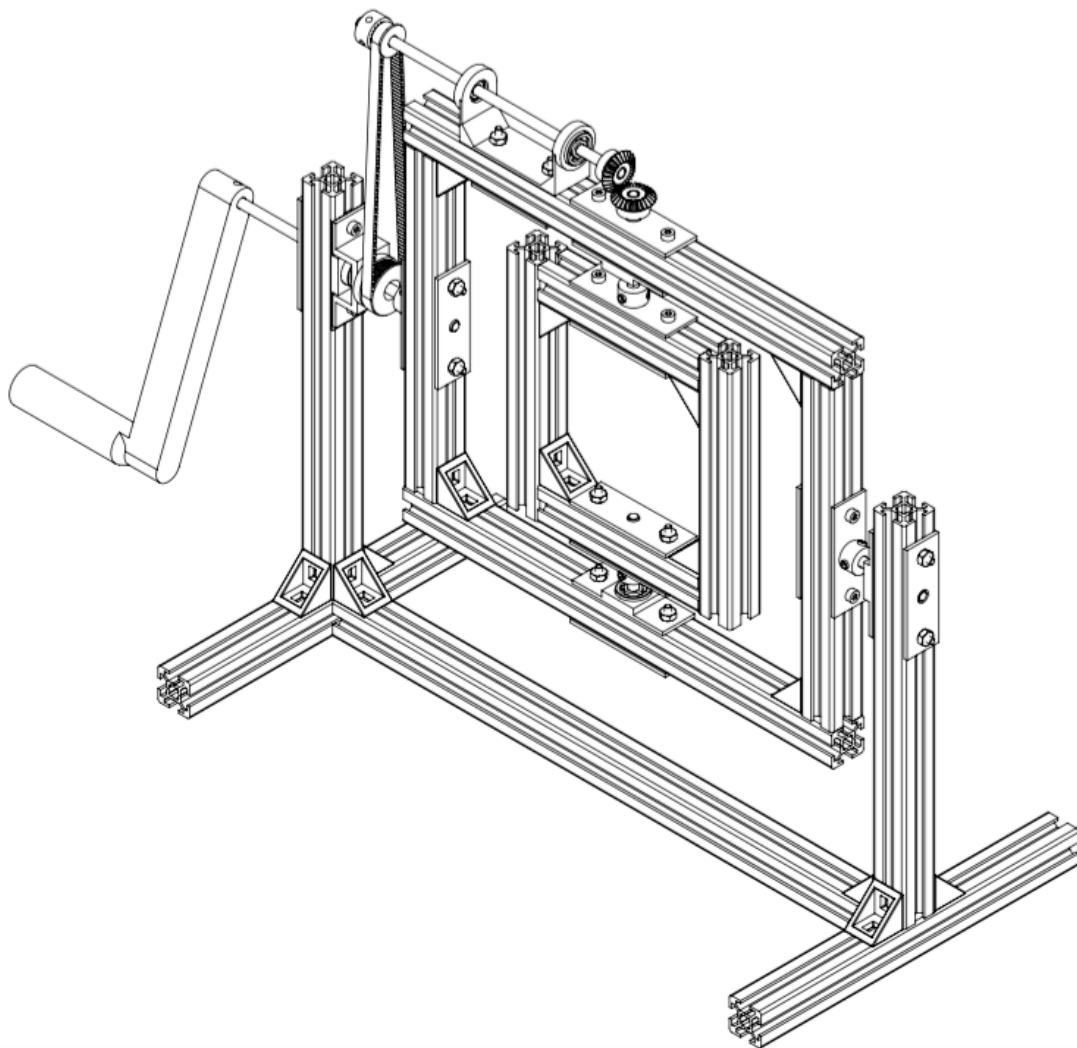


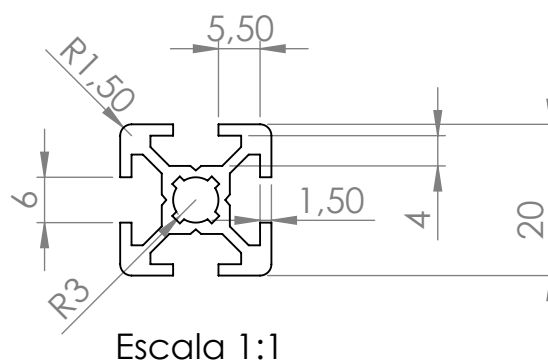
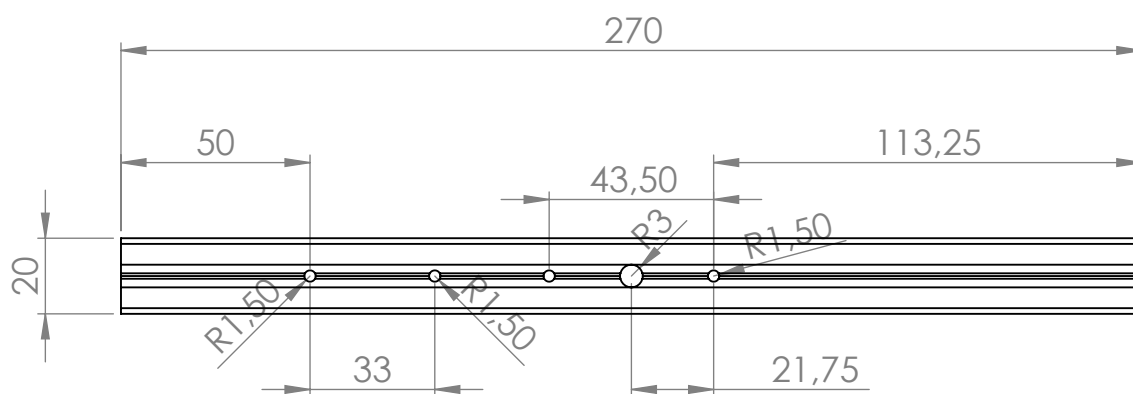
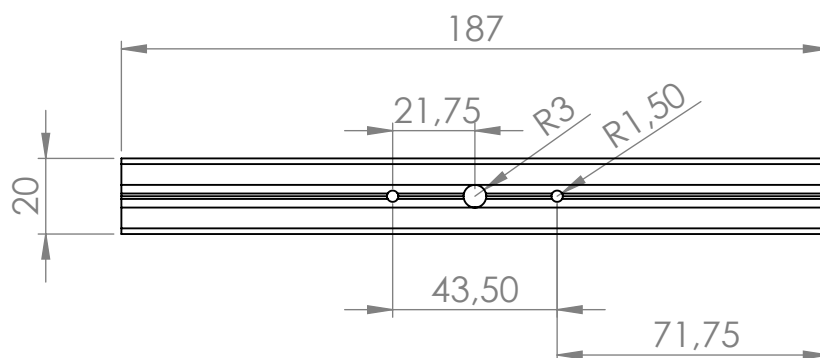
Paso 14:

Por último se coloca la polea que falta junto con la correa y se atornilla la placa que soporta los rodamientos sobre el perfil 270 mm.



Con esto la máquina ya estaría completa y lista para ser utilizada y generar piezas por medio de la técnica del rotomoldeo.





TÍTULO:

ROTOMOLDEO

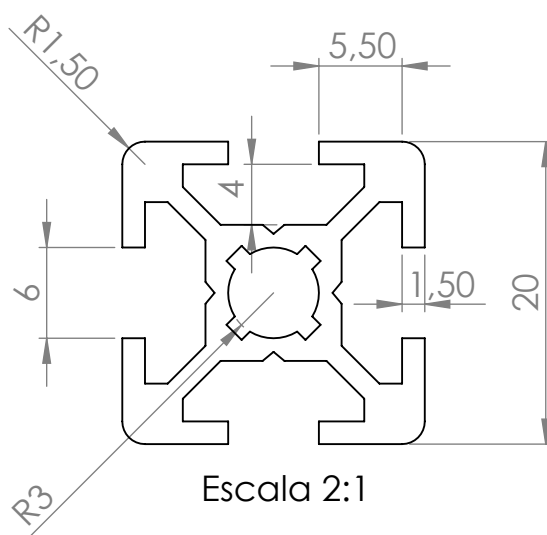
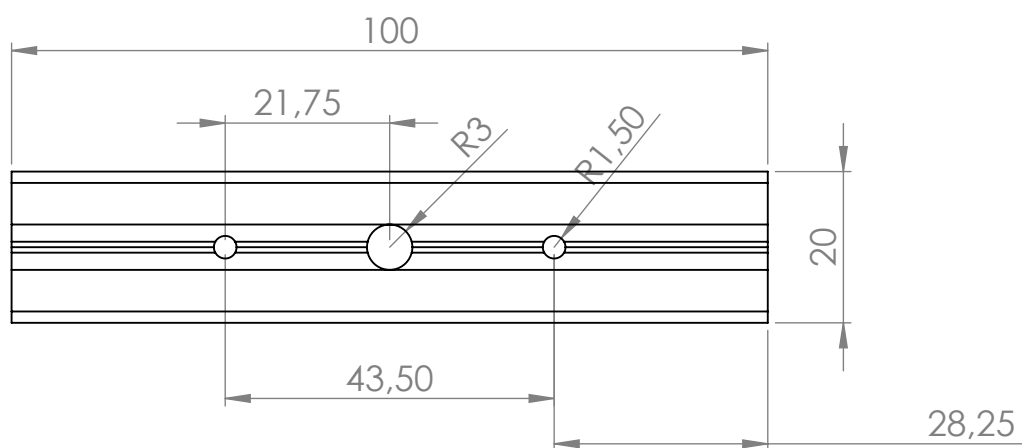
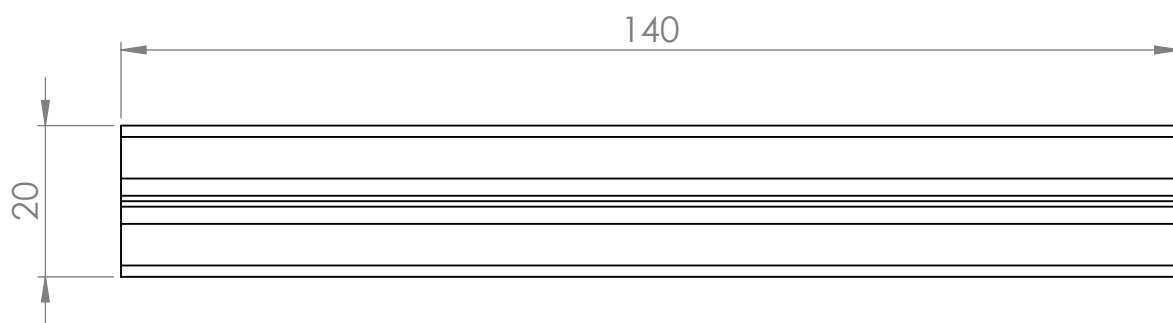
DIBUJO

Perfiles 270 mm
y 187 mm

A4

ESCALA:1:2

HOJA 1 DE 16



TÍTULO:

ROTOMOLDEO

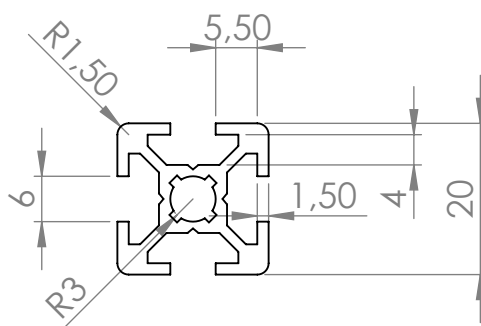
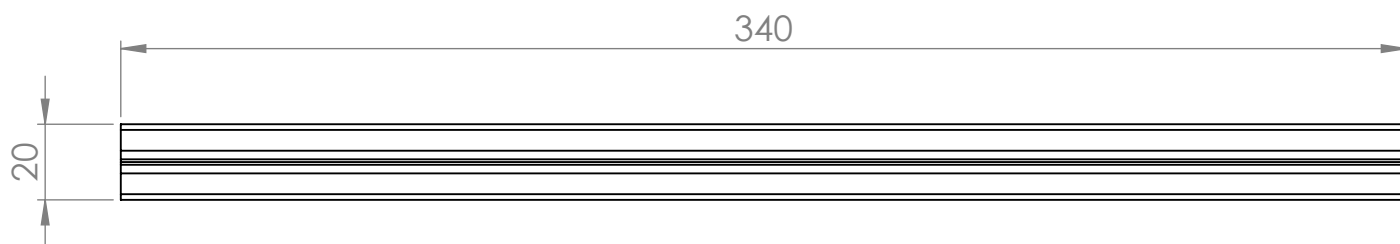
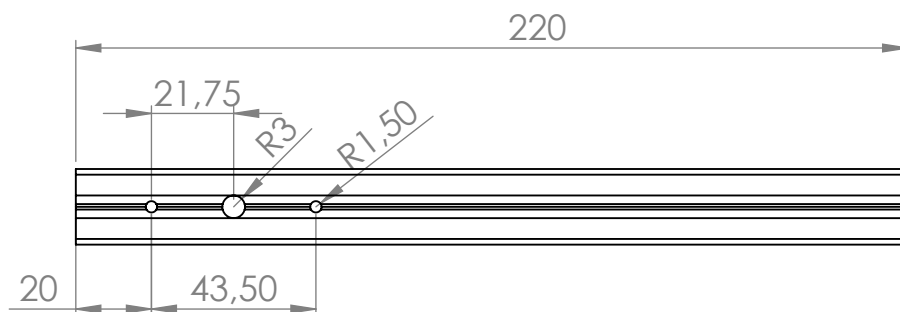
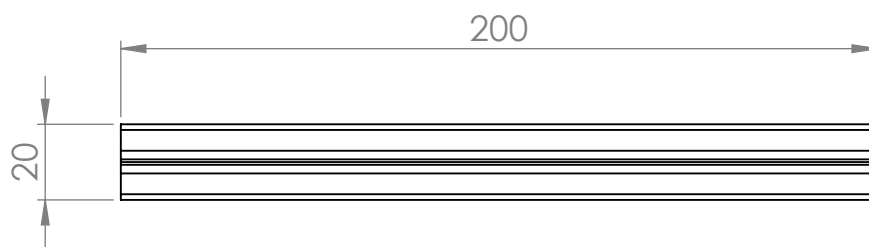
DIBUJO

Perfiles 100 mm
y 140 mm

A4

ESCALA:1:1

HOJA 2 DE 16



Escala 1:1

TÍTULO:

ROTOMOLDEO

DIBUJO

Perfiles soporte

A4

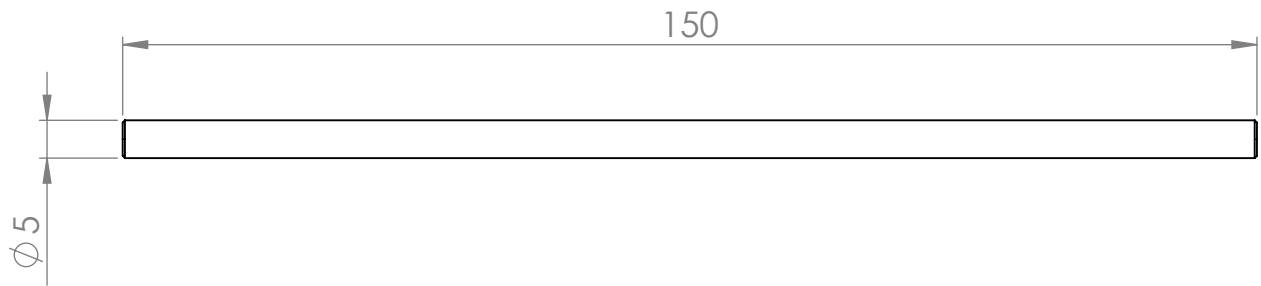
ESCALA:1:2

HOJA 3 DE 16

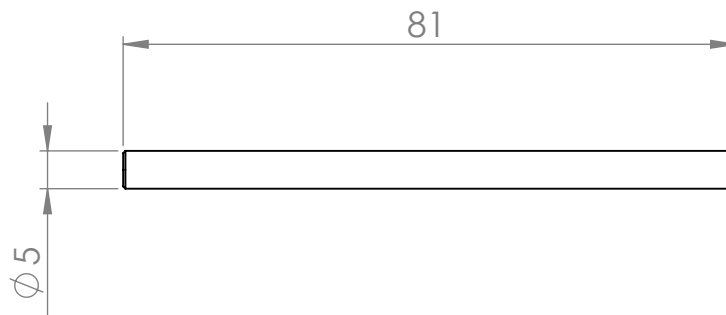
Ejede transmisión



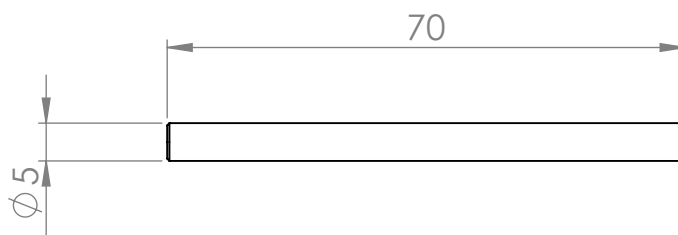
Eje motriz



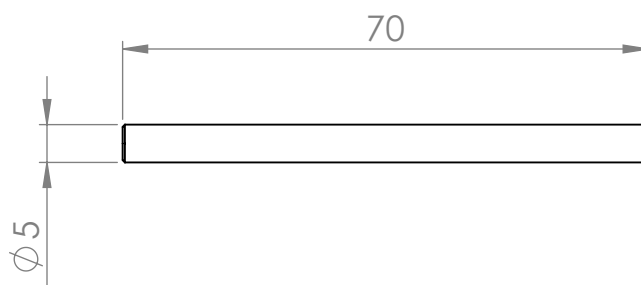
Eje engranaje-marco secundario



Eje marco primario-secundario



Eje soporte-marco primario



TÍTULO:

ROTOMOLDEO

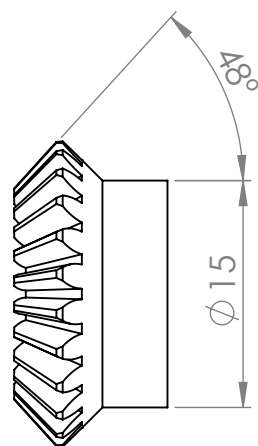
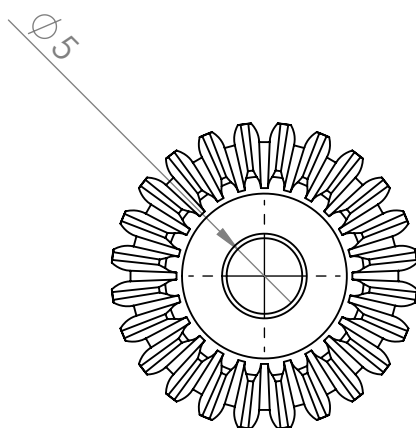
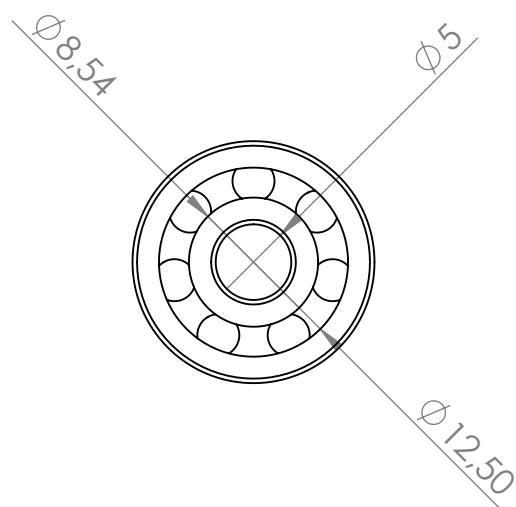
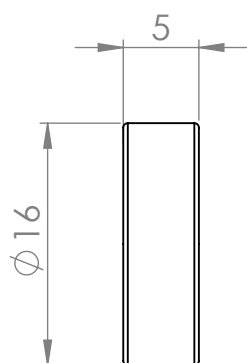
DIBUJO

Ejes

A4

ESCALA:1:1

HOJA 4 DE 16



TÍTULO:

ROTOMOLDEO

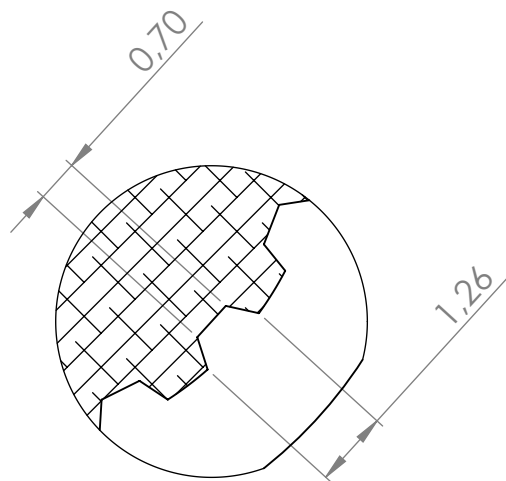
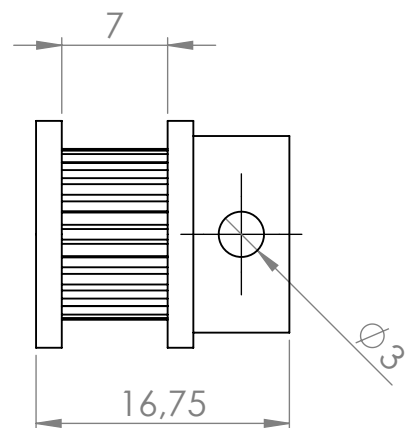
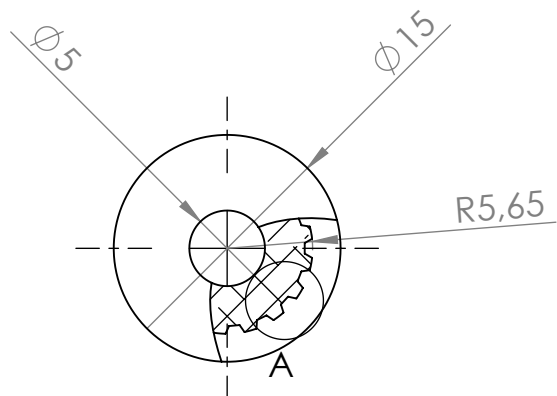
DIBUJO

Engranaje y
Rodamiento

A4

ESCALA:2:1

HOJA 5 DE 16



DETALLE A
ESCALA 8 : 1

TÍTULO:

ROTOMOLDEO

DIBUJO

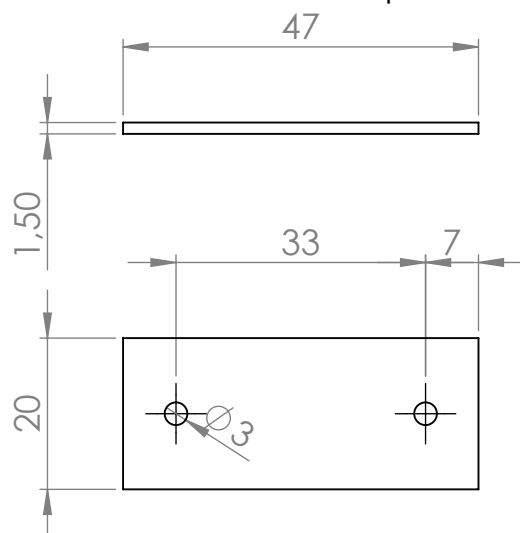
Polea pequeña

A4

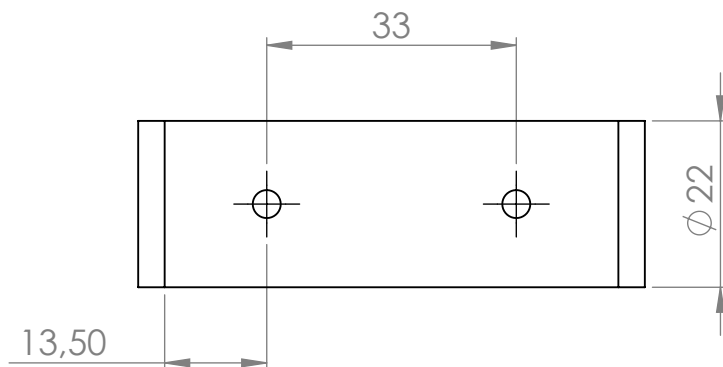
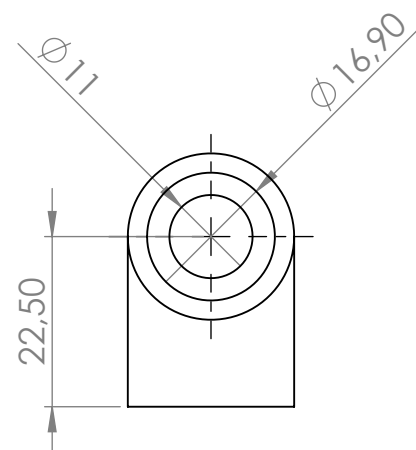
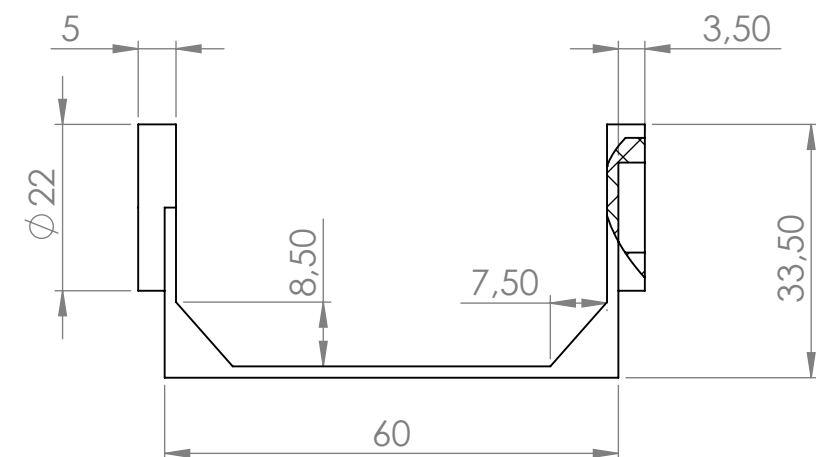
ESCALA:2:1

HOJA 6 DE 16

Placa simple



Placa forma de U



TÍTULO:

ROTOMOLDEO

DIBUJO

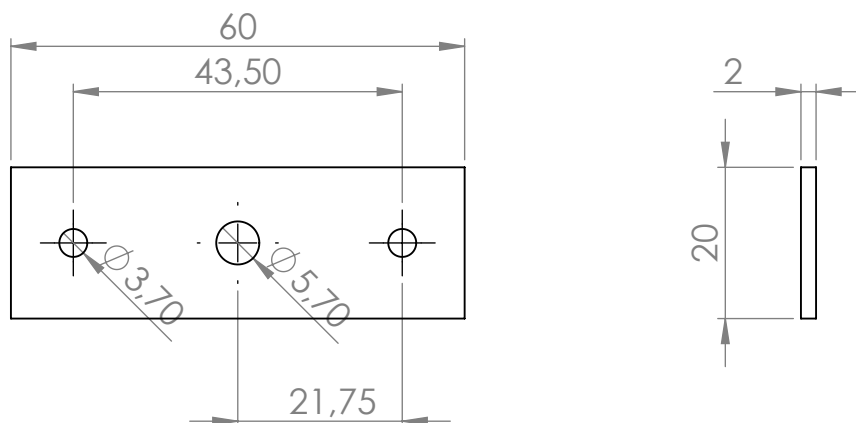
Placas impresas 1

A4

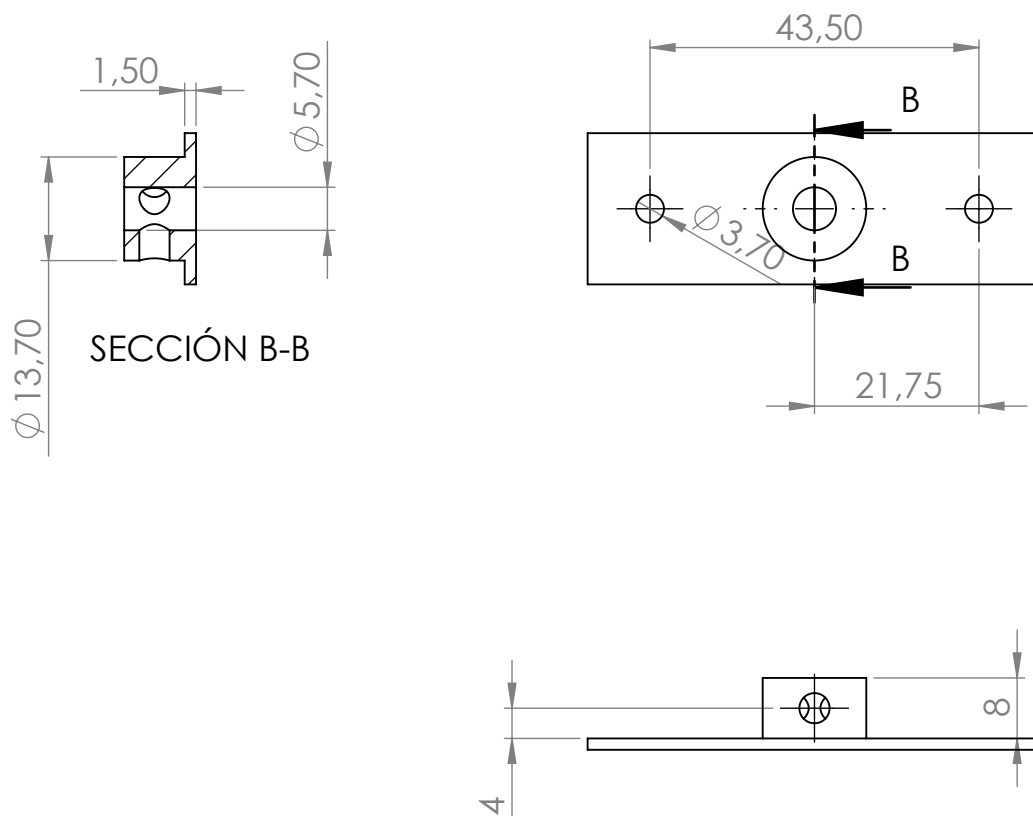
ESCALA:1:1

HOJA 7 DE 16

Placa 5 mm



Placa 5 mm modificada



TÍTULO:

ROTOMOLDEO

DIBUJO

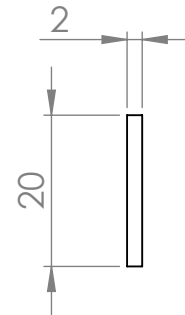
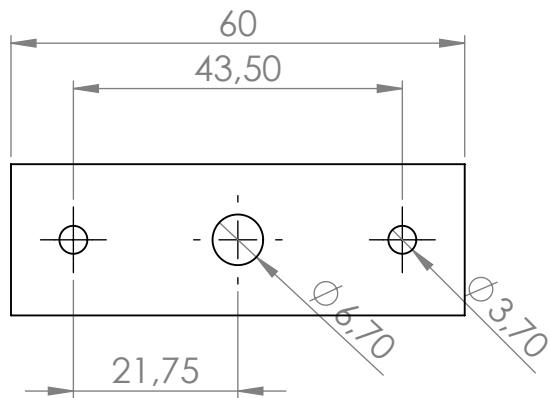
Placas impresas 2

A4

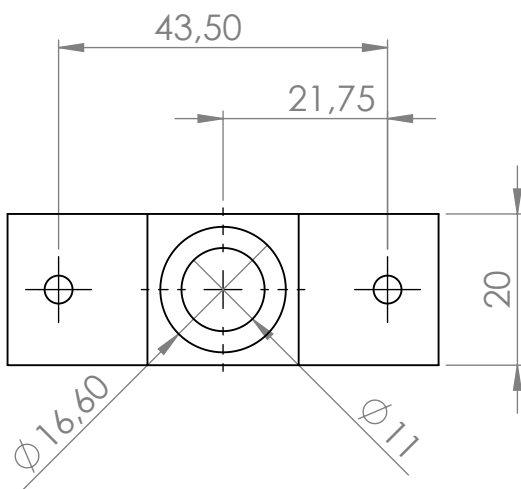
ESCALA:1:1

HOJA 8 DE 16

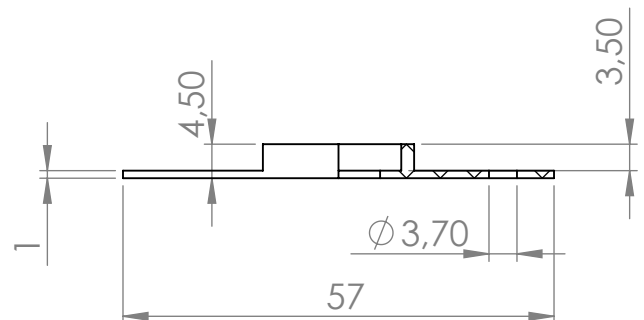
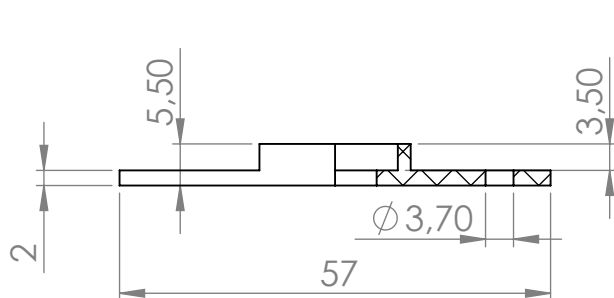
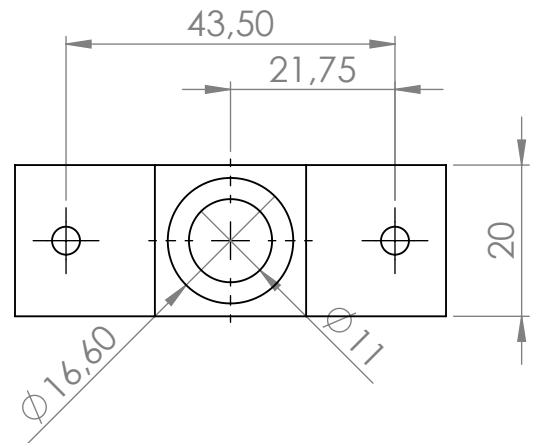
Placa 6 mm



Placa rodamiento



Placa rodamiento modificada



TÍTULO:

ROTOMOLDEO

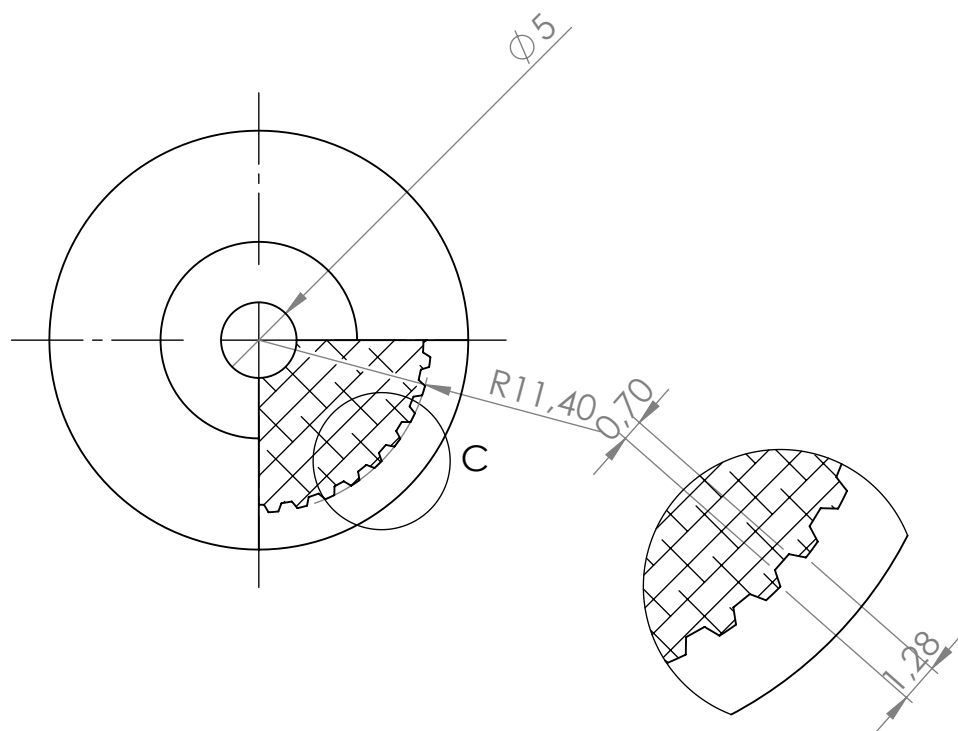
DIBUJO

Placas impresas 3

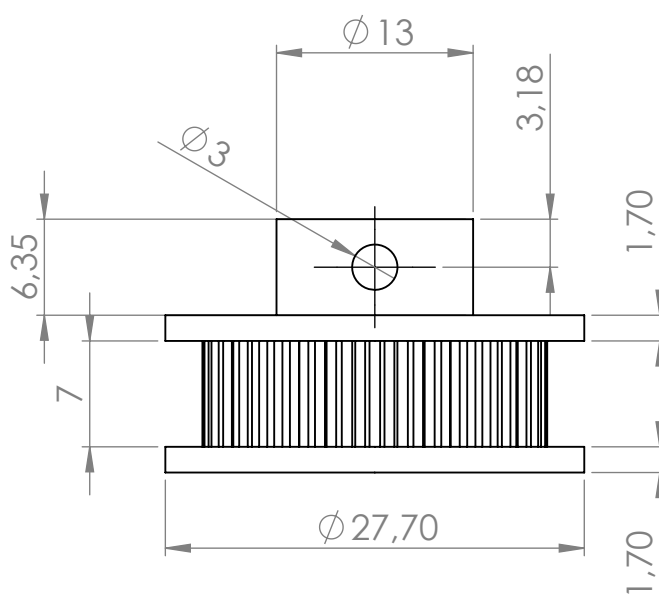
A4

ESCALA:1:1

HOJA 9 DE 16



DETALLE C
ESCALA 4 : 1



TÍTULO:

ROTOMOLDEO

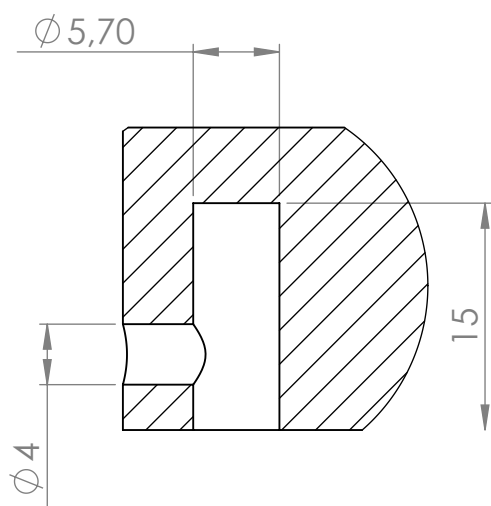
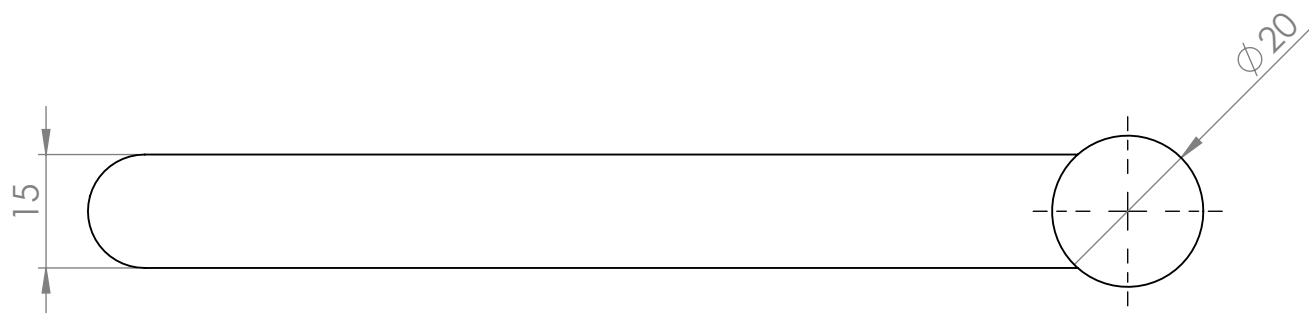
DIBUJO

Polea impresa

A4

ESCALA:2:1

HOJA 10 DE 16



DETALLE C
ESCALA 2 : 1



TÍTULO:

ROTOMOLDEO

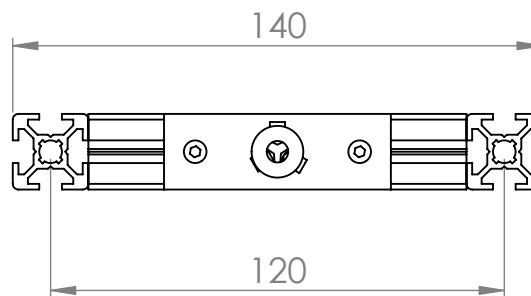
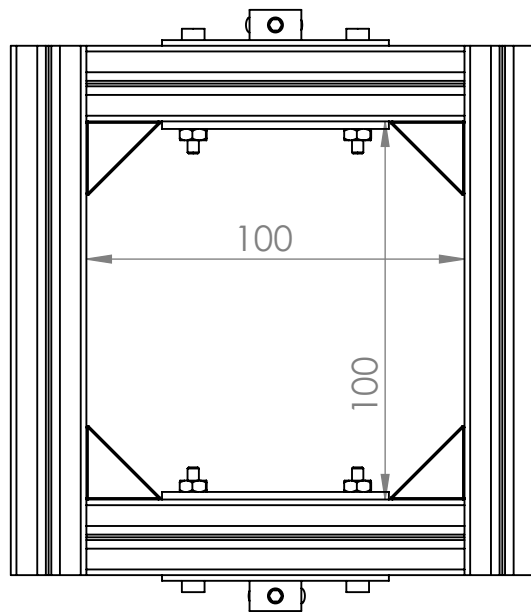
DIBUJO

Manivela

A4

ESCALA:1:1

HOJA 11 DE 16



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	Perfil 100 mm	Aluminio	2
2	Perfil 140 mm	Aluminio	2
3	Escuadra	Aluminio	4
4	Placa 5 mm modificada	PLA	2
5	Prisionero	Acero	6
6	Placa 5 mm	PLA	2
7	Tuerca	Acero	4
8	Tornillo	Acero	4

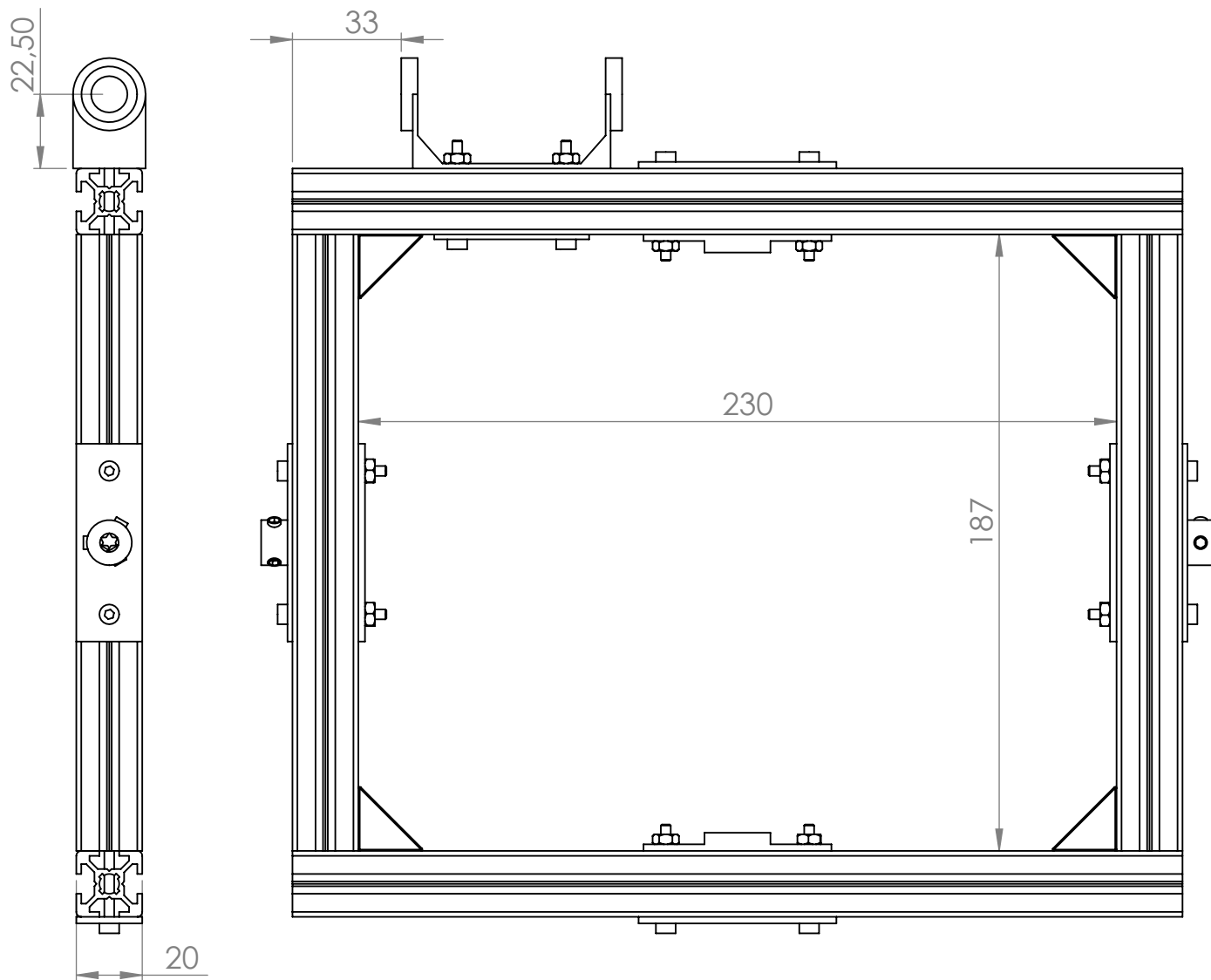
TÍTULO:

ROTOMOLDEO

DIBUJO

Marco interior

A4



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	Perfil 187 mm	Aluminio	2
2	Perfil 270 mm	Aluminio	2
3	Escuadra	Aluminio	4
4	Placa 6 mm	PLA	2
5	Prisionero	Acero	6
6	Placa 5 mm	PLA	1
7	Placa 5 mm modificada	PLA	2
8	Tuerca	Acero	10
9	Tornillo	Acero	10
10	Placa rodamiento	PLA	2
11	Placa U	PLA	2
12	Placa Simple	PLA	1

TÍTULO:

ROTOMOLDEO

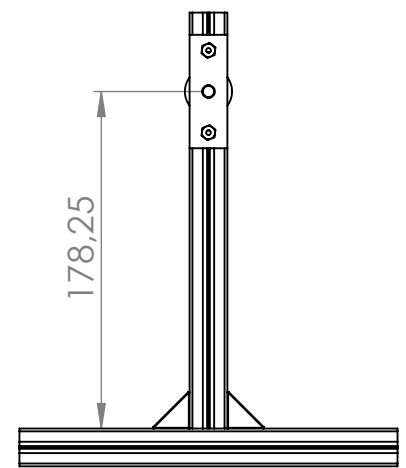
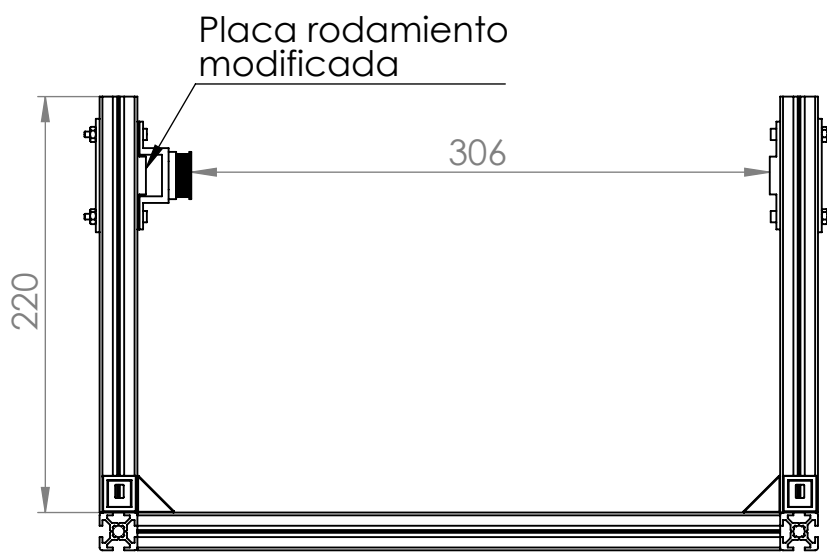
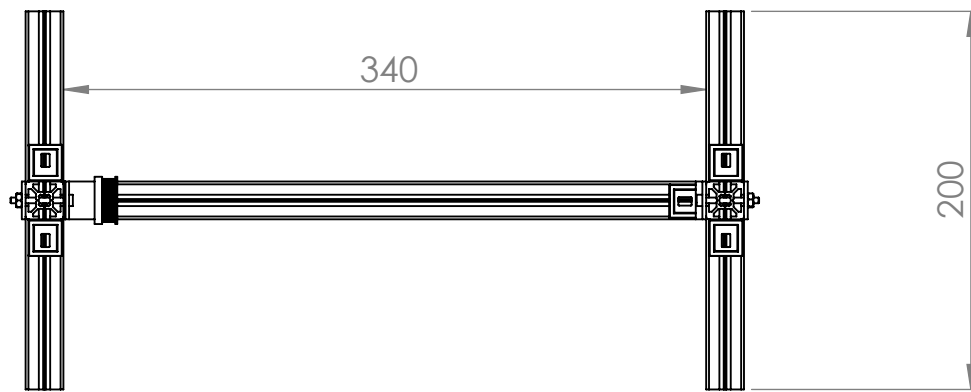
DIBUJO

Marco exterior

A4

ESCALA:1:2

HOJA 13 DE 16



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	Escuadra	Aluminio	6
2	Perfil 220 mm	Aluminio	2
3	Perfil 340 mm	Aluminio	1
4	Perfil 200 mm	Aluminio	2
5	Placa 6 mm	PLA	2
6	Tornillo	Acero	4
7	Tuerca	Acero	4
8	Placa rodamiento	PLA	1
9	Placa rodamiento modificada	PLA	1
10	Polea impresa	PLA	1

TÍTULO:

ROTOMOLDEO

DIBUJO

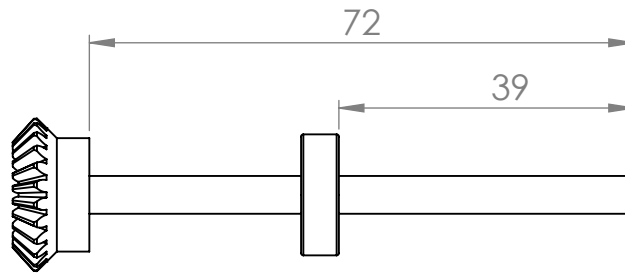
Soporte

A4

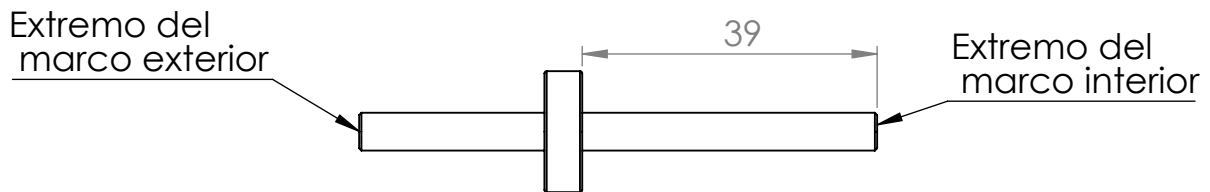
ESCALA:1:4

HOJA 14 DE 16

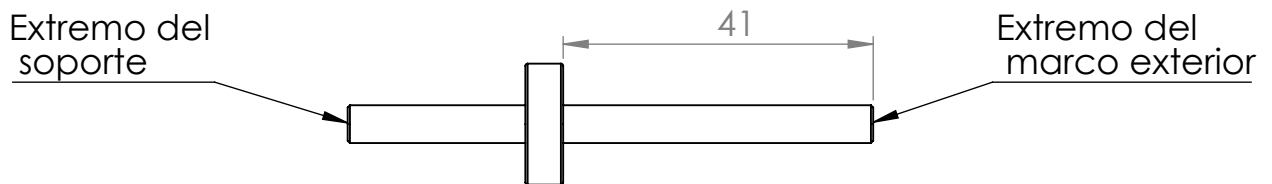
Eje engranaje-secundario



Eje marco secundario-primario



Eje soporte-marco primario



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	Eje engranaje-marco secundario	Acero	1
1.1	Rodamiento	Acero	1
1.2	Engranaje	Acero	1
2	Eje marco secundario-primario	Acero	1
2.1	Rodamiento	Acero	1
3	Eje soporte-marco primario	Acero	1
3.1	Rodamiento	Acero	1

TÍTULO:

ROTOMOLDEO

DIBUJO

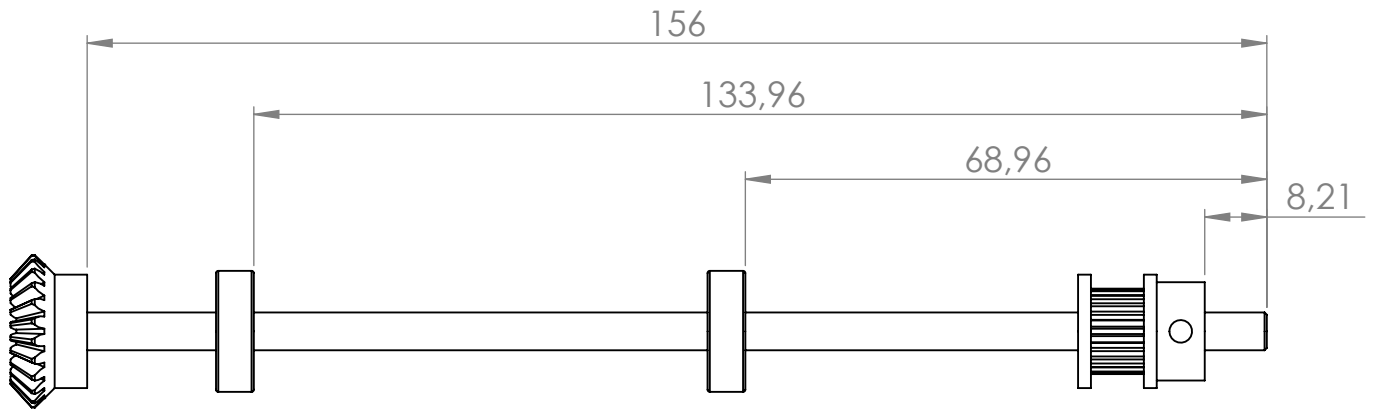
Ensamblajes
ejes 1

A4

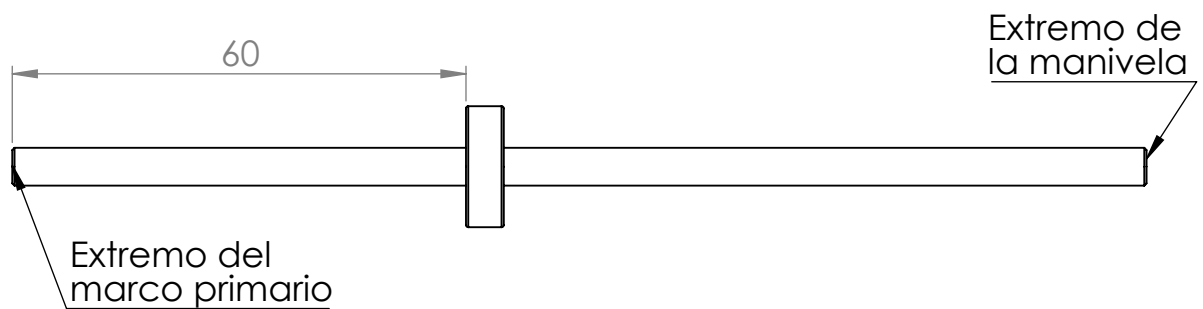
ESCALA:1:1

HOJA 15 DE 16

Eje de transmisión



Eje motriz



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	Eje transmisión	Acero	1
1.1	Engranaje	Acero	1
1.2	Polea impresa	PLA	1
1.3	Rodamiento	Acero	2
2	Eje motriz	Acero	1
2.1	Rodamiento	Acero	1

TÍTULO:

ROTOMOLDEO

DIBUJO

Ensamblajes
ejes 2

A4

ESCALA:1:1

HOJA 16 DE 16